

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Proposta de vehicle elèctric adaptat a la mobilitat urbana

MEMÒRIA

Autor: Lizán Berga, Andrés
Director: Hernández Chiva, Emilio
Convocatòria: Juny del 2016



**Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



Resum

Les principals ciutats europees es troben lluny d'assolir uns nivells de qualitat de l'aire acceptables. Les elevades xifres d'emissions contaminants en els nuclis urbans han obligat als ajuntaments de diverses ciutats europees a plantejar-se mesures preventives. Per tal d'intentar reduir la primera font d'emissions contaminants, és a dir el tràfic viari, els ajuntaments s'han plantejat la possibilitat de prohibir l'accés, parcial o total, als vehicles de combustió interna.

De tots els automòbils al mercat que estan exempts de les futures prohibicions de circulació, és a dir els automòbils elèctrics, gairebé cap presenta les característiques adequades a les condicions de desplaçaments urbans. Aquesta desproporció en característiques tals com la massa, la potència i les dimensions d'aquests vehicles, suposa bàsicament un consum energètic excessiu i innecessari, i un augment del sòl aparcament i de la superfície d'asfalt en carretera —aquella que ocupa cada vehicle que es troba en circulació—.

L'objectiu del projecte consisteix, en última instància, en proposar un sistema de transport no contaminant, exempt de les futures lleis de restricció de circulació en zones urbanes. De manera més directa, aquest sistema de transport ha de ser segur, còmode, econòmic i, sobretot, adaptat als desplaçaments en zones urbanes en termes de dimensions, lleugeresa, manejabilitat, autonomia, prestacions i potència.

Per començar, es realitza un estudi de mercat dels vehicles no contaminants que sí suposen una millora en l'adaptabilitat als entorns urbans, és a dir, els quadricicles elèctrics. De tots aquests tipus de vehicle al mercat, no hi ha cap que proporcioni unes característiques ajustades al seu elevat preu de venda. Per aquest motiu, s'estudien diverses alternatives dels sistemes de configuració del tren de potència que suposin una reducció en els costos de l'artefacte i per tant, una disminució en el seu preu de venda.

En aquest projecte es verifica l'existència de noves alternatives en el tren de potència que suposen una reducció significativa en els costos de l'artefacte, sense la necessitat de comprometre el compliment de les especificacions tècniques, definides a partir de les necessitats de l'usuari final. Les alternatives proposades, tals com la configuració d'un motor elèctric exempt de transmissió mecànica combinat amb la utilització d'una única roda posterior motriu, podrien marcar unes tendències de disseny i producció en els pròxims anys.

En darrer terme, en aquest projecte es pretén canviar la manera de les persones d'entendre la mobilitat urbana i millorar les seves vides d'una manera sostenible, és a dir, sense comprometre les necessitats de futures generacions.

Sumari

RESUM	2
SUMARI	4
1. ÍNDEX DE FIGURES	7
2. ÍNDEX DE TAULES	9
3. GLOSSARI	10
4. PREFACI	12
4.1. Origen del projecte.....	12
4.2. Motivació i segment de l'automoció a estudiar	14
5. INTRODUCCIÓ	17
5.1. Objectius del projecte	17
5.2. Abast del projecte	17
6. SISTEMA DE PROPULSIÓ EN EL VEHICLE ELÈCTRIC	19
6.1. Principi operatiu bàsic del motor elèctric.....	19
6.2. El motor elèctric modern	20
6.2.1. El motor d'inducció.....	20
6.2.2. El motor de reluctància variable	21
6.2.3. El motor d'imants permanents	21
7. EMMAGATZEMATGE D'ENERGIA	23
7.1. Bateria electroquímiques	23
7.2. Bateria de liti actuals	24
7.3. Els ultracondensadors	26
7.4. Utilització combinada de bateries i UC	27
8. UNITATS DE CONTROL ELECTRÒNIC	28
8.1. Sistema de gestió de la bateria.....	28
8.2. Carregador interior del vehicle	29
8.3. Controlador del motor/inversor	30
8.4. Unitat de control del vehicle i convertidor DC/DC	31
9. FRENADA REGENERATIVA	32
10. INFRAESTRUCTURA DE RECÀRREGA DEL VEHICLE ELÈCTRIC	33

10.1. Punts de recàrrega convencional i semi-ràpida	33
10.2. Punts de recàrrega ràpida	34
10.3. Punts de recàrrega en la ciutat de Barcelona	34
11. ALTERNATIVES EN EL MERCAT	36
11.1. El Renault Twizy	36
11.2. El e2 de Global Electric Motorcars	37
11.3. El e-city de Mega-Aixam	38
11.4. El Reva del grup Mahindra Electric Vehicles	38
11.5. Comparativa de les especificacions tècniques	39
11.5.1. P.V.P. del Renault Twizy i el sistema de lloguer de les bateries	41
12. VARIABLES DEL SISTEMA I RESTRICCIONS	45
13. ANÀLISI D'USUARIS I USUÀRIES I NECESSITATS	47
13.1. Sistemes que interaccionen amb el sistema solució	47
13.2. Usuaris i necessitats	48
14. ESTUDI DE LA SOLUCIÓ COM A CONCEPTE	52
14.1. Especificacions tècniques previstes	52
14.2. Paràmetres de força i potència	54
14.2.1. Particularització	58
14.3. Paràmetres energètics	59
14.3.1. Particularització	60
15. SOLUCIONS ALTERNATIVES DEGUT A VARIACIONS EN TREN DE POTÈNCIA	62
15.1. Configuracions del sistema elèctric de propulsió	62
15.2. Marxa única i variable	64
15.3. Configuració 'In-wheel'	66
15.4. Vehicles de tres rodes	67
15.5. Alternativa seleccionada	68
16. SOLUCIÓ FINAL I OPERATIVA	70
16.1. Xassís	70
16.2. Motor elèctric	72
16.3. Controlador del motor	73
16.4. Bateria	74
16.5. Sistema de gestió de la bateria (BMS)	77
16.6. Carregador interior del vehicle	79

16.7. Convertidor DC/DC	79
17. ANÀLISI DELS COSTOS DELS COMPONENTS	81
18. PLANIFICACIÓ I PROGRAMACIÓ	84
19. NORMATIVA APLICABLE	86
20. SUBVENCIONS I AJUTS ECONÒMICS PER A L'USUARI FINAL PER L'OBTENCIÓ D'UN VEHICLE ELÈCTRIC	88
21. AVALUACIÓ DEL IMPACTE MEDIAMBIENTAL	90
21.1. Recuperació dels residus de les bateries	90
21.2. La dependència del liti	91
FUTURS DESENVOLUPAMENTS	92
CONCLUSIONS	94
AGRAÏMENTS	96
BIBLIOGRAFIA	97
Referències bibliogràfiques	97
Bibliografia complementària	99

1. Índex de figures

Figura 4.1 Parc de vehicles elèctrics en l'àrea metropolitana de Barcelona. - Font: DGT (2013).....	15
Figura 6.1 Components d'un brushed DC Motor – Font: Electronic Design per Mat Dirjish (2012).....	20
Figura 7.1 Cicles de càrrega i descàrrega d'una bateria – Font: Electric Vehicles per João Vitor Fernandes Serra (2012).....	24
Figura 8.1 Circuit rectificador bàsic amb filtratge per condensador – Font: Electronics Tutorials per Electronics Tutorials Team	29
Figura 8.2 Forma d'ona de sortida del rectificador amb i sense condensador – Font: Electronics Tutorials per Electronics Tutorials Team	29
Figura 8.3 Esquema elèctric bàsic d'un inversor trifàsic amb PWM– Font: HBM Test and Measurement	31
Figura 8.4 Unitat central del control del vehicle	31
Figura 10.1 Distribució dels punts de recàrrega a la ciutat de Barcelona. – Font: Institut Català d'Energia (ICAEN) (2016)	35
Figura 11.1 Contrast de dimensions entre el Renault Twizy i una plaça d'aparcament convencional – Font: Catàleg electrònic del Renault Twizy.....	37
Figura 14.1 Representació de les forces resistents que actuen sobre un vehicle – Font: Modern Electric Vehicle Technology de C.C. Chan & K.T. Chau	57
Figura 15.1 Configuracions del EV en funció de les variacions en el sistema elèctric de propulsió – Font: Modern Electric Vehicle Technology de C.C. Chan & K.T. Chau.....	63
Figura 15.2 Corbes força-velocitat d'un ICV amb sistema de transmissió de 5 velocitats. - Font: Modern Electric Vehicle Technology de C.C. Chan & K.T. Chau	65
Figura 15.3 Corba força-velocitat d'un EV amb marxa fixa – Font: Modern Electric Vehicle Technology de C.C. Chan & K.T. Chau.....	66
Figura 15.4 Configuracions 'in-wheel' amb rotor intern i amb rotor extern – Font: Modern Electric Vehicle Technology de Hiroshi Shimizu & C.C. Chan & K.T. Chau	67

Figura 16.1 Vista frontal, posterior i lateral del Trigger Arrow – Font: Catàleg electrònic del Trigger Arrow per l'empresa Trigger Cars.	71
Figura 16.2 Motor a roda amb rotor extern de 72V i 7000 W - Font: Fitxa tècnica del Car Hub Motor 72V 7KW per Kelly controller, LLC	73
Figura 16.3 Controlador del motor - Font: Fitxa tècnica del controlador amb referència KBL72401E per Kelly controller, LLC	74
Figura 16.4 Cel·la individual prismàtica de liti-ferrofosfat de 3,2V i 100Ah (esquerra) i mòdul de quatre cel·les de 12,8V i 100Ah (dreta) - Font: Ficha tècnica de LFP-G100 per AA Portable Power Corp.	76
Figura 16.5 Mòdul sensor/actuador del BMS - Font: Ficha tècnica de BMS-EL-V7 per AA Portable Power Corp.	77
Figura 16.6 ECU (esquerra) i pantalla LCD (dreta) del BMS - Font: Fitxa tècnica del BMS amb referència BMS-EP128 per AA Portable Power Corp.	78
Figura 16.7 Carregador de 72V i 10A – Font: Fitxa tècnica del carregador amb referència F7210-72V/10A Charger per Kelly controller, LLC	79
Figura 16.8 Convertidor DC/DC – Font: Fitxa tècnica del convertidor DC/DC amb referència KDCC7212-400-5W per Kelly controller, LLC	80
Figura 17.1 Desglossament dels costos de l'artefacte segons els seus components.....	82
Figura 18.1 Planificació temporal del projecte	85
Figura 21.1 Materials reciclables en una bateria d'ió-liti per pes – Font: Electrification Coalition (2012)	90
Figura 21.2 Mapa mundial de les reserves globals de liti - Font: Electric Vehicles per João Vitor Fernandes Serra (2012).....	91

2. Índex de taules

Taula 4.1 Avaluació dels nivells de NO ₂ a la ciutat de Barcelona en l'any 2014 – Font: Informe d'avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona, per l'Agència de Salut Pública (2014).....	13
Taula 11.1 Especificacions tècniques dels quadricicles més rellevants al mercat	40
Taula 13.1 Sistemes persona-artefacte-ambient que intervenen projecte	47
Taula 13.2 Usuaris que intervenen en el projecte	50
Taula 14.1 Especificacions tècniques previstes	53
Taula 16.1 Compliment de les dimensions previstes	71
Taula 16.2 Especificacions tècniques d'una cel·la individual de la bateria.....	76
Taula 16.3 Especificacions tècniques del BMS.....	78
Taula 17.1 Desglossament dels costos de l'artefacte segons els seus components	82

3. Glossari

<i>ABREVIATURES</i>	<i>TERMES</i>
PM2.5	Partícules fines o de diàmetre aerodinàmic igual a 2,5 µm
PM10	Partícules gruixudes o de diàmetre aerodinàmic igual a 10 µm
AMB	Àrea Metropolitana de Barcelona.
ATM	Autoritat del Transport Metropolità
UE	Unió Europea
IERMB	Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona
DGT	Direcció General de Tràfic
ICAEN	Institut Català d'Energia
Idescat	Institut d'estadística de Catalunya
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
Pla PIVE	Programa d'Incentius al Vehicle Eficient
PdRs	Punts de Recàrrega sostenible
REESS	Rechargeable Energy Storage Systems
EV	Electric Vehicle
ECU	Electronic Control Unit
EM	Electric Motor
DC	Direct Current
AC	Alternating Current
ICV	Internal combustion vehicle

NCA	Lithium Nickel Cobalt Aluminium Battery
LFP	Lithium Iron Phosphate Battery
LMO	Lithium Manganese Polymer Battery
LMO/LTO	Lithium Titane Battery
UC	Ultracondensadors
BMS	Battery Management System
VCU	Vehicle Control Unit
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor
PWM	Pulse Width Modulation
UTAC	United Test and Assembly Center
DOD	Depth of Discharge
SoC	State of charge

4. Prefaci

4.1. Origen del projecte

L'establiment de grans nuclis urbans ha suposat un extraordinari desenvolupament tecnològic i econòmic sense precedents en la història de la humanitat. No obstant això, les grans aglomeracions urbanes també han suposat algunes problemàtiques per a la salut i el benestar dels seus habitants. Un dels problemes més importants és la presència d'elevats nivells de concentració de determinats contaminants en l'atmosfera, com ara els òxids de nitrogen (NO_x) i les partícules en suspensió (PM_{10} ¹ i $\text{PM}_{2,5}$ ²). Aquests contaminants són, principalment, fruit d'emissions provocades pel trànsit viari, per focus industrials, per grans infraestructures de mobilitat (ports i aeroports) i per les obres, en ordre de major a menor incidència.

Encara que en els darrers anys s'ha produït una lleu reducció en els nivells d'emissions de la majoria de contaminants, segons l'últim informe sobre la qualitat de l'aire a Europa [1], les principals ciutats europees encara es troben lluny d'assolir uns nivells de qualitat de l'aire acceptables.

El diòxid de Nitrogen (NO_2) i les partícules en suspensió PM_{10} són dos dels contaminants que superen els nivells establerts per la Unió Europea en la gran majoria d'àrees metropolitanes de les principals ciutats europees.

En el conjunt de l'àrea metropolitana de Barcelona, es superen els límits de concentració d'alguns contaminants establerts per l'UE per a la protecció de la salut. Segons el seguiment de l'evolució de les emissions realitzat per L'ATM juntament amb l'institut Cerdà, s'alliberen un total de **24.541 tones de NO_2 anuals** només en aquesta zona, de les quals gran part són generades per vehicles del tipus dièsel. Actualment, aquest contaminant és el més problemàtic a la ciutat de Barcelona i, fins no fa molt, ho era conjuntament amb les PM_{10} . De fet, segons l'informe d'avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona, en alguns punts de la ciutat es superen els valors límit establerts per la normativa estatal i europea (RD 102/2011 i Directiva 2008/50/CE).

¹ PM_{10} – Petites partícules sòlides i líquides disperses per l'atmosfera de composició variada amb un diàmetre inferior a 10 μm .

² $\text{PM}_{2,5}$ – Petites partícules sòlides i líquides en suspensió en l'aire de composició varia amb un diàmetre inferior a 2,5 μm .

NO ₂ (Dades en µg/m ³)	Trànsit molt intens		Trànsit moderat			Fons urbà	
	Eixample	Gràcia-Sant Gervasi	Poblenou	Sants	Palau Reial	Ciutadella	Vall d'Hebron
Màxim horari Valor límit horari: 200 µg/m ³	170	202	141	158	189	132	157
Superacions VLh No es podrà superar més de 18 ocasions per any	0	1	0	0	0	0	0
Mitjana anual Valor límit anual: 40 µg/m ³	52	52	39	32	31	37	28
Nombre de dades vàlides en %	98	98	98	98	98	99	98

Taula 4.1 *Avaluació dels nivells de NO₂ a la ciutat de Barcelona en l'any 2014 – Font: Informe d'avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona, per l'Agència de Salut Pública (2014)*

Tal i com es mostra a la **Taula 4.1**, el valor límit anual establert de la concentració de NO₂ es supera en punts de la ciutat amb tràfic molt intens, posant en risc la salut dels ciutadans i ciutadanes.

Les elevades xifres d'emissions contaminants en els nuclis urbans han obligat als ajuntaments de diverses ciutats europees a plantejar-se mesures preventives. Per tal d'intentar reduir la primera font d'emissions contaminants (el tràfic viari) els ajuntaments s'han plantejat la possibilitat de prohibir l'accés, parcial o total, als vehicles de combustió interna.

En octubre de 2015, el govern d'Oslo va decidir que es restringirà l'accés dels cotxes a la ciutat a partir de l'any 2019. En Hamburg, la segona ciutat més poblada d'Alemanya, els cotxes tindran prohibit l'accés al centre de la ciutat a partir del 2034. Pel que respecta a Londres, l'ajuntament pretén limitar la circulació a la ciutat als vehicles elèctrics i híbrids a partir de l'any 2020. De moment, en la capital del Regne Unit ja està implantada una taxa de congestió de tràfic, denominada *congestion charge*. Aquesta taxa consisteix en un import de 11,5 lliures³ (14 euros aproximadament) per a tots els cotxes que vulguin accedir al centre de la ciutat de dilluns a divendres de 7:00 a 18:00 hores. A Paris, l'alcaldessa Anne Hidalgo pretén dintre de quatre anys tant prohibir l'accés als vehicles dièsel fabricats abans del 2011 com limitar l'accés al centre de la ciutat a aquells vehicles que no transportin a més de dos passatgers. Actualment, a la capital de França ja hi han implantades dures restriccions de

³ Els vehicles dièsel paguen addicionalment 12 euros per a accedir al centre de la ciutat.

velocitat (20 km/h) en diversos carrers de la ciutat, així com un pla per prohibir l'accés als cotxes al centre de la ciutat els diumenges.

Pel que respecta a Madrid, recentment s'han aplicat diverses mesures en dies puntuals com a conseqüència de nivells de contaminació per damunt dels límits establerts per la UE. Les mesures han estat restriccions de tràfic, limitacions de velocitat i prohibició d'aparcament en zones blaves i verdes del centre de la ciutat. Però, més enllà d'aquestes mesures preventives, l'Ajuntament de Madrid prohibirà la circulació dels cotxes dièsel a Madrid a partir del 2020. A més, al 2017 es restringirà l'accés al centre i es desplaçaran els parquímetres als barris perifèrics de Madrid.

Davant d'aquestes futures lleis de prohibició de circulació als vehicles 'no nets' en zones urbanes cal, en primer lloc, analitzar les solucions actuals al mercat per a aquesta problemàtica i, en segon lloc, cercar altres solucions que resolguin millor les necessitats dels usuaris i s'adaptin millor a les condicions de desplaçament en zones urbanes.

4.2. Motivació i segment de l'automoció a estudiar

Actualment un gran volum de persones necessita fer ús del vehicle privat per als desplaçaments quotidians, ja sigui per requeriments personals o professionals. Segons una enquesta realitzada en un dia feiner per l'Ajuntament de Barcelona l'any 2014, publicada al web de l'IERMB, **més d'un 25 %** dels desplaçaments dels residents dins de l'àrea metropolitana de Barcelona es realitza en transport privat, dels qual gran part és en automòbil. Un total **1.050.109 de vehicles** entren a l'àrea metropolitana de Barcelona diàriament.

Les futures lleis vinculades a la restricció de la circulació dels vehicles 'no nets' obliga al sector de l'automoció a un replantejament en la concepció de mobilitat urbana implantada actualment per tal d'oferir nous sistemes de desplaçament per a totes aquelles persones que es desplacen diàriament per zones urbanes.

Gràcies a l'avenç de la tecnologia en el sector de l'automoció en els darrers anys, s'han pogut proposar i materialitzar diverses solucions per a desplaçaments en vehicle motoritzat no contaminant. Aquestes alternatives bàsicament consisteixen en vehicles propulsats gràcies a un o més motors elèctrics.

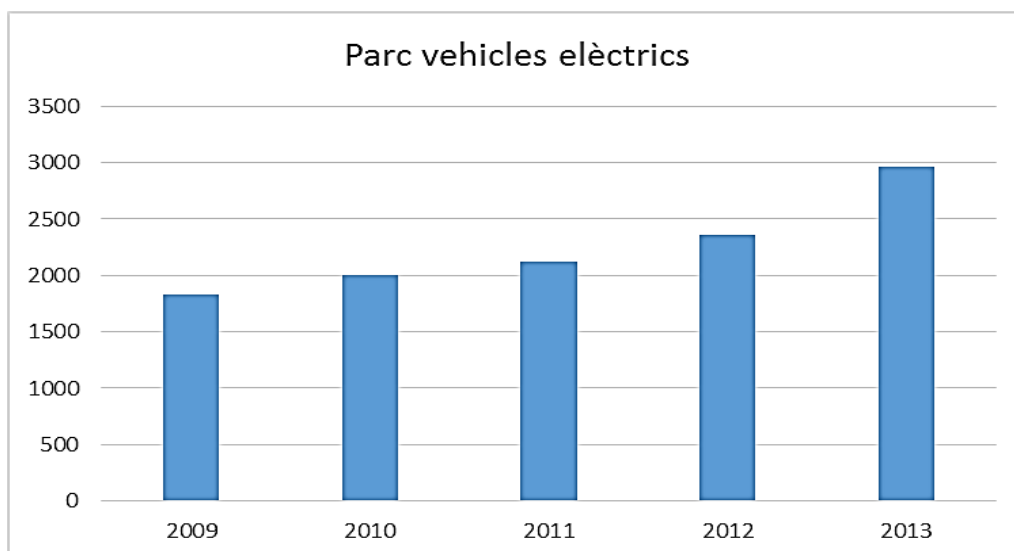


Figura 4.1 Parc de vehicles elèctrics en l'àrea metropolitana de Barcelona. - Font: DGT (2013)

En el gràfic de la **Figura 4.1** es mostra l'evolució anual en el parc de vehicles elèctrics segons dades de la DGT. Tot i que la tendència en els darrers anys ha estat favorable i l'oferta d'automòbils elèctrics cada cop és més àmplia, la xifra de vehicles elèctrics registrats en l'any 2013 **[2961 vehicles elèctrics]** segueix sent molt baixa en comparació amb el **1.817.752 de vehicles** registrats per l'Idescat dins de l'àrea metropolitana de Barcelona; els vehicles elèctrics només representen el 0,16% del parc d'automòbils en l'AMB.

Pel que respecta als automòbils elèctrics venuts actualment, la majoria d'ells formen part dels segments de l'automoció de l'A a l'F, i. e. vehicles de més de dos places que tenen més de 3,30 metres de llargada. Si es té en compte que l'ocupació mitja en els desplaçaments diaris dels vehicles a Espanya està compresa entre 1,2 i 1,3 passatgers, ni les dimensions, ni les masses, ni les potències d'aquests vehicles s'adapten a les condicions actuals dels desplaçaments urbans en transport privat. Aquesta desproporció suposa bàsicament un consum energètic excessiu i innecessari i un augment del sòl aparcant i de la superfície d'asfalt en carretera —aquella que ocupa cada vehicle que es troba en circulació—.

En aquests treball s'analitzen i avaluen aquelles automòbils elèctrics dissenyats especialment per a ser utilitzats en desplaçaments urbans, que tinguin una capacitat de passatgers que s'ajusti a l'ocupació mitja dels vehicles a Espanya i que proporcionin unes condicions de seguretat superior als vehicles motoritzats de dues rodes. Aquests vehicles s'anomenen quadricicles o microcotxes i es caracteritzen principalment per tenir dimensions, masses, potències, velocitats màximes i preus de venda al públic inferiors als vehicles dels segments de l'automoció de l'A a l'F.

Els quadricicles, segons la classificació establerta de vehicles de dos i tres rodes i quadricicles per Reglament número 168 de la Unió Europea [15], són aquells vehicles de tres o quatre rodes que responen als criteris de classificació dels vehicles de les categories L6e (quadricicles lleugers) o L7e (quadricicles pesats). Segons aquest mateix reglament, per a que un vehicle formi part de la categoria L6e ha de complir els següents criteris: velocitat màxima limitada a 45 km/h, massa en ordre de marxa⁴ més petita o igual a 425 Kg i potència nominal inferior o igual a 4 kW. D'altra banda, per a que un vehicle formi part de la categoria L7e ha de complir els següents criteris: massa en ordre de marxa inferior o igual a 450 kg en el cas de transport de passatgers, massa en ordre de marxa inferior o igual a 600 kg en el cas de transport de mercaderies, i una potència nominal inferior o igual a 15 kW.

Els quadricicles, apart de garantir les condicions de seguretat i comoditat que es poden esperar d'un automòbil de majors dimensions, s'adapten de manera més idònia als desplaçaments urbans. La capacitat de passatgers d'aquest vehicles s'adequa a l'ocupació mitjà registrada, el consum energètic d'aquests vehicles és molt inferior al dels turismes de 4 i 5 places i es poden adquirir per un preu de venda al públic molt més econòmic que els dels automòbils d'altres segments. Així mateix, la manejabilitat d'aquest vehicles és més senzilla degut a les petites dimensions d'aquest vehicles i les probabilitats de trobar aparcament en zones urbanes són més elevades.

Cal tenir present que els quadricicles de la categoria L6e, és a dir, els quadricicles considerats com a lleugers, de conformitat amb el que queda establert per l'article 4 del Reglament General de Conductors [16], es poden conduir amb el permís de conducció AM (ciclomotors) expedit per les Prefectures Provincials de Tràfic. Aquest tipus de permís de conducció el poden obtenir aquelles persones amb una edat mínima de 15 anys.

⁴ Massa en ordre de marxa – Massa del vehicle més la massa estàndard d'un conductor de 75 kg.

5. Introducció

5.1. Objectius del projecte

L'objectiu del projecte consisteix, en última instància, en proposar un **sistema de transport no contaminant**, exempt de les futures lleis de restricció de circulació en zones urbanes que s'aplicaran als vehicles contaminants. De manera més directe, aquest sistema de transport ha de ser **segur, còmode, econòmic** i, sobretot, **adaptat als desplaçaments en zones urbanes en termes de dimensions, lleugeresa, manejabilitat, autonomia, prestacions i potència**.

Tal i com s'ha esmentat en el prefaci, l'estudi es centrarà en el segment de l'automoció dels quadricicles. Un augment d'aquest tipus d'automòbils en el parc de vehicle suposaria una reducció tant de la superfície de sòl aparcament total –cada nou vehicle té una superfície de sòl aparcament inferior– com de la superfície d'asfalt en carretera –aquella que ocupa cada vehicle quan es troba en moviment–. Com a conseqüència, la capacitat d'aparcament en les zones urbanes s'incrementaria i la mobilitat urbana per carretera milloria.

Un altre objectiu del projecte és desenvolupar una solució que permeti posicionar al producte manufacturat final com a referència dins del mercat dels automòbils del tipus quadricicle. Així mateix, la solució s'haurà de desenvolupar d'acord amb les especificacions tècniques que es definiran, amb un alt nivell de qualitat, en el menor temps possible i al menor cost possible. L'èxit del projecte dependrà, en gran mesura, d'aconseguir finalitzar el projecte amb una bona relació de les variables **qualitat, temps i cost**.

En última instància, un triomf per aquest projecte seria assolir un elevat grau de conscienciació entre la població sobre les nefastes conseqüències per al medi ambient que suposen les emissions contaminant dels vehicles que funcionen mitjançant la crema de combustibles fòssils.

5.2. Abast del projecte

En aquest treball es realitza la fase de disseny del projecte, és a dir, aquella que permet la transformació d'una idea en un projecte definit. És en aquesta fase on es defineixen els objectius, condicionants i criteris d'avaluació, així com la particularització de les solucions possibles.

La fase de disseny es divideix en quatre fases: l'ordre de magnitud, l'estudi preliminar,

l'avantprojecte i el disseny detallat. En la fase de l'ordre de magnitud es fixen els principals paràmetres i restriccions per a poder realitzar el plantejament del projecte. En l'estudi preliminar i l'avantprojecte s'estudien les possibles solucions alternatives i s'identifica i defineix en termes bàsics la millor solució per al projecte. Finalment, en la fase de disseny detallat s'acaba de definir tant el conjunt com cadascuna de les parts del projecte.

6. Sistema de propulsió en el vehicle elèctric

Abans d'analitzar les alternatives actuals al mercat per a la problemàtica plantejada i abans de definir les necessitats i especificacions tècniques de l'artefacte, es necessari entendre el funcionament bàsic d'un motor elèctric [11], així com entendre en que consisteixen cadascun dels seus components.

A diferència dels vehicles amb motors de combustió interna, formats per un xarxa complexa de components mecànics, els EVs (Electric Vehicles) depenen de la simple interacció entre el motor elèctric, els ECUs⁵ (Electronic Control Units) i un dràsticament simplificat sistema de transmissió.

6.1. Principi operatiu bàsic del motor elèctric

El principi operatiu subjacent d'un EM (Elèctric Motor) és simple; el flux d'un corrent elèctric a través d'un cable enrotllat en una bobina produeix un camp electromagnètic al seu voltant, de tal manera que aquesta bobina passa a actuar com un electroimant. Aquesta bobina es situa en les proximitats d'una altra bobina amb aquestes característiques, de tal manera que la interacció entre elles fa que es generi moviment i, per tant, l'energia elèctrica es transformi en energia cinemàtica.

Els elements electromagnètics es configuren de tal manera que els EMs produeixin moviment rotacional continu. Així doncs, els EMs consisteixen de dos elements fonamentals: l'estator (element estacionari) i el rotor (element rotatori).

⁵ Electronic Control Unit - Sistema que controla a un o més sistemes o subsistemes elèctric en un vehicle.

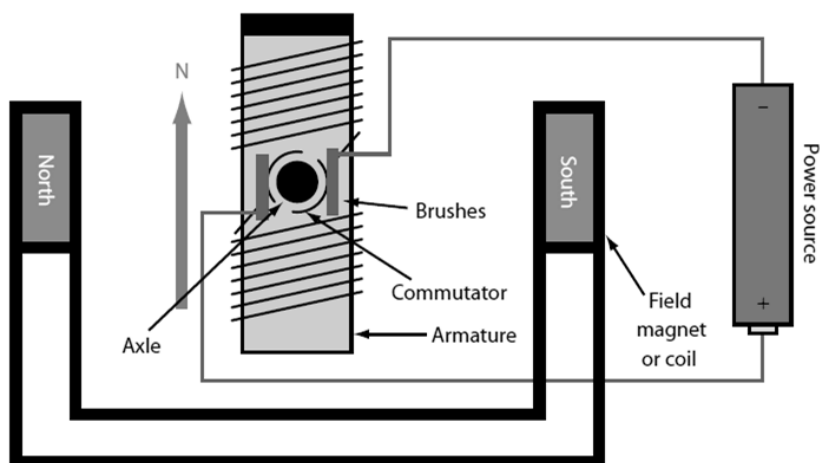


Figura 6.1 Components d'un brushed DC Motor – Font: *Electronic Design per Mat Dirjish (2012)*

En la **Figura 6.1** s'il·lustra un brushed DC Motor. Aquest tipus de motors va ser dels primers en comercialitzar-se. Consisteix en un camp magnètic permanent (estator), unes escobretes, un commutador, un eix, una armadura (rotor) i una font d'energia. Al fer circular un corrent elèctric pel debanant de la bobina del rotor l'orientació del camp magnètic varia contínuament en relació als pols dels imants permanents i, per tant, es genera una rotació ininterrompuda.

6.2. El motor elèctric modern

Gràcies a la capacitat dels ECU de manipular les característiques del DC (Direct Current) que circula entre la bateria i el motor elèctric s'han pogut trobar solucions alternatives al sistema de connexió *brush/commutator* d'un convencional *brushed* DC motor, il·lustrat en la **Figura 6.1**. Aquestes solucions alternatives, tot i funcionar a partir del mateix principi físic subjacent, es caracteritzen per l'absència de contacte físic entre els seus components, fet que suposa una millora notable en l'eficiència del motor i la seva vida útil.

Els motors que més s'han emprat en el desenvolupament dels EV moderns són el motor AC (Alternating Current) d'inducció, el motor AC de reluctància variable i el motor d'imants permanents. Cadascun d'aquests motors té certes avantatges en propietats específiques.

6.2.1. El motor d'inducció

Els motors AC d'inducció o asíncrons són un tipus de motor de corrent alterna en el que la corrent elèctrica del rotor necessària per a produir torsió és induïda per inducció

electromagnètica del camp magnètic de la bobina de l'estator. Al aplicar corrent alterna trifàsica a les bobines inductores, es produeix un camp magnètic rotatori a l'estator (camp estatòric), la freqüència del qual és igual a la de la corrent alterna amb la que s'alimenta el motor. Aquest camp gira al voltant del rotor, de tal manera que s'indueixen corrents en el mateix i es genera un altre camp magnètic (camp rotòric) que seguirà el moviment del camp magnètic estatòric. Cal tenir present que per a que es generi el principi d'inducció entre el rotor i l'estator es necessari que les velocitats relatives dels camps estatòric i rotòric siguin diferents. Aquesta diferència de velocitats s'anomena lliscament i és el motiu pel qual aquests motors també reben el nom de motors asíncrons.

El motor d'inducció trifàsic conegut amb el nom de 'three-phase cage motor' o 'motor de jaula de ardilla' degut a la seva forma característica, ha estat el més àmpliament utilitzat en una gran diversitat d'aplicacions, d'entre elles, en els motor elèctrics per automòbils. Aquests motors són accessibles econòmicament i presenten una gran fiabilitat i robustesa. Tot i així, la eficiència dels motors d'inducció es veu deteriorada a nivells baixos de càrrega.

Tot i que els motors d'inducció representen un considerable avenç respecte als *brushed motors*, no proporcionen una solució ideal ja que consumeix energia addicional a causa del corrent d'inducció en el rotor. A més, el flux de corrent calenta excessivament el rotor i, per tant, es requereix més energia per a mantenir-lo a una temperatura adequada per al seu funcionament.

6.2.2. El motor de reluctància variable

Els motors AC de reluctància variable són motors elèctrics formats per un rotor de ferro dentat que, mitjançant una commutació determinada del camp magnètic a l'estator, les dents del rotor tendeixen a alinear-se amb els pols bobinats del estator i s'aconsegueix generar un moviment rotatori del rotor.

Aquest motors són motors econòmics de gran simplicitat en la seva construcció que, al igual que els motors d'inducció, presenten un elevat grau de fiabilitat. Es caracteritzen per oferir una bona corba parell⁶/velocitat juntament amb un ampli rang de funcionament a potència constant.

6.2.3. El motor d'imants permanents

Els motor d'imants permanents són els motors elèctrics que proporcionen els nivells més elevats d'eficiència. Dins d'aquests tipus de motors, per aplicacions relacionades amb el món automobilístic, els motors AC síncrons d'imants permanents són els més emprats.

⁶ Parell – Moment de força que exerceix un motor sobre l'eix de transmissió de potència.

En els motors AC síncrons la velocitat de gir del rotor depèn de la freqüència de la tensió d'entrada al motor i del nombre de parell de pols del motor. Aquesta velocitat és coneix amb el nom de velocitat de sincronisme. Els motors síncrons s'anomenen d'aquesta manera ja que la velocitat del rotor i la velocitat del camp magnètic de l'estator són iguals.

L'avantatge d'aquests motors respecte als altres models de motors brushless és que el seu motor d'imants permanents proporciona un elevada densitat de flux sense consumir energia addicional (a diferència dels motors AC d'inducció). Addicionalment, l'imant permanent d'elevada densitat energètica permet un disseny excepcionalment compacte.

7. Emmagatzematge d'energia

7.1. Bateries electroquímiques

A diferència dels sistemes de conversió d'energia utilitzats en els ICV (Internal Combustion Vehicle), les bateries intercanvien energia (elèctrica) sense intercanviar matèria. En comptes de consumir-se irreversiblement com en el cas dels combustibles fòssils, les substàncies químiques de la bateria converteixen energia mitjançant canvis d'estat, és a dir, les bateries experimenten reaccions químiques reversibles, de tal manera que es converteix l'energia elèctrica en energia químicament emmagatzemada durant la recàrrega i es converteix de manera inversa aquesta energia química emmagatzemada en energia elèctrica per a proporcionar al motor durant la fase de descàrrega.

Una bateria està formada per diverses celes electroquímiques apilades. Cadascuna d'aquestes celes té les mateixes propietats electroquímiques i les mateixes característiques operacionals i funciona de manera independent, com subunitats independents de la bateria. Per aquest motiu, algunes celes poden assolir un estat de càrrega o descàrrega completa abans que d'altres celes, fet que pot suposar certs problemes en funció de la composició química de la bateria.

La configuració típica d'una bateria consisteix en tres elements primaris: un elèctrode negatiu (ànode), un elèctrode positiu (càtode) i una substància electrolítica (substància amb conductivitat elèctrica) en la qual es troben submergits l'ànode i el càtode. Generalment, l'ànode està format carbó en forma de grafit, mentre que el càtode està format per un òxid metàl·lic de transició, la composició exacta del qual representa un factor clau en la determinació de les característiques d'una bateria. Tant l'ànode com el càtode són components intercalats que permeten la circulació dels ions de la substància electrolítica durant els cicles de càrrega i descàrrega. Els elèctrodes es troben submergits en una solució electrolítica [que consisteix en una sal de liti dissolta en un dissolvent orgànic] en la qual s'hi introdueix un separador (per exemple propilè) per a evitar la circulació directa d'electrons entre els elèctrodes a través de l'electròlit.

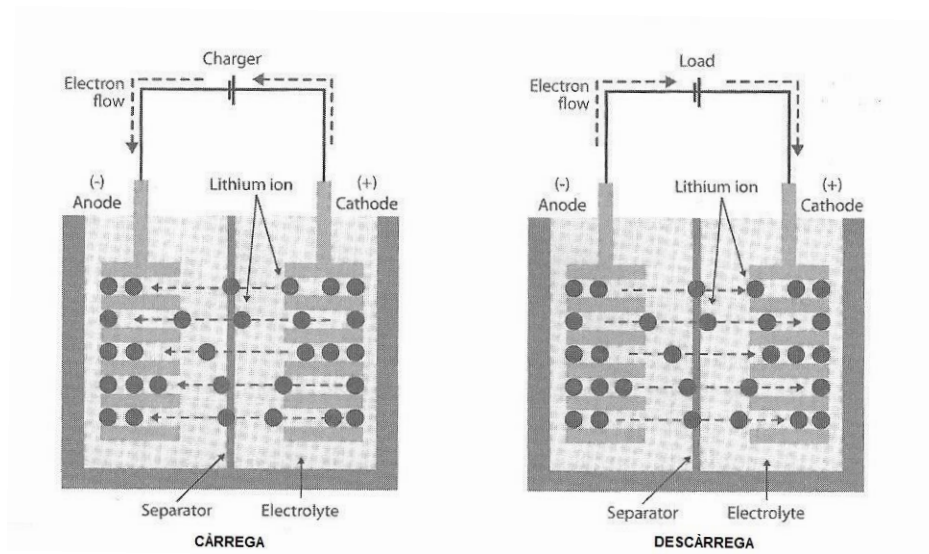


Figura 7.1 Cicles de càrrega i descàrrega d'una bateria – Font: *Electric Vehicles per João Vitor Fernandes Serra (2012)*

La Figura 7.1 il·lustra la reacció química durant els processos de càrrega i descàrrega d'una bateria, els quals representen el procés invers de l'altre. Durant el procés de descàrrega els ions de liti són alliberats de l'ànode de grafit i transferits al càtode d'òxid de metall a través de l'electròlit. L'alliberació dels ions de liti coincideix amb la circulació d'electrons des de l'ànode fins al càtode. Per a que aquests processos es duiguin a terme, l'ànode i el càtode han d'estar connectats mitjançant un circuit extern que permeti la circulació del corrent elèctric.

Avui en dia, l'electròlit i el material separador de les bateries tradicionals es substitueix per fins polímers de liti que contribueixen a millorar la vida de la bateria.

7.2. Bateries de liti actuals

Existeixen tres tipus bàsics de bateries segons els materials dels quals estan conformades: bateries de plom àcid, bateries de níquel-hidrur metàl·lic i bateries de ions de liti. Actualment, la recerca científica i el desenvolupament tecnològic es centra en el darrer tipus de bateries degut a les elevades prestacions que ofereixen respecte als altres dos tipus de bateries.

Les bateries ió-liti tenen una alta densitat d'energia, un bon rendiment a altes temperatures i, a més, són reciclables. Els avantatges més destacats d'aquest tipus de bateries són un baix

efecte memòria⁷, una elevada potència específica, una elevada energia específica i una llarga vida útil.

Les bateries ió-liti, encara que pocs, també presenten algun inconvenient. Aquestes bateries no toleren molt bé les sobrecàrregues i les sobredescàrregues. Per aquest motiu, resulta imprescindible la instal·lació d'un sistema de gestió de la bateria (capítol 8.1) en aquest tipus de bateries per a que controli en tot moment les tensions de càrrega i descàrrega de la bateria, i per a que s'interrompi el funcionament de la bateria en cas de sobreintensitats o pics de temperatura.

Les bateries de ions de liti es divideixen en quatre subgrups en funció de la composició química de cada bateria:

- NCA (lithium nickel cobalt aluminium)
- LFP (lithium iron phosphate)
- LMO (lithium manganese polymer)
- LMO/LTO (lithium titane)

Cap de les composicions dels quatre tipus de bateries de ions de liti ofereix supremacia en totes les àrees, tot i així, cadascuna pot oferir millors solucions per a problemes específics.

La composició NCA resulta costosa i requereix severos controls operatius per tal d'assegurar unes bones condicions de seguretat. No obstant això, aquesta bateria té una alta energia específica (170 Wh/kg) i una llarga durabilitat.

A dia d'avui, el fet que el volum de producció de les bateries ió-liti tipus LFP estigui augmentant considerablement fa que aquest tipus de bateries s'estiguin convertint en les més rentables del mercat. A més, la matèria prima emprada per a fabricar aquestes bateries és relativament barata en comparació amb altres tipus de bateria. Durant els darrers anys s'ha millorat considerablement l'estabilitat i seguretat de la composició LFP de tal manera que s'han minimitzat notablement els riscos de fallada de la bateria i els costos de mesures de seguretat preventives. A més, el reduït nivell de deteriorament de la capacitat energètica d'aquesta bateria durant la seva vida útil permet als fabricants no sobredimensionar les bateries per assegurar un rendiment adequat i, per tant, s'optimitza el pes de la bateria.

Les bateries tipus LMO i LTO/LMO presenten solucions intermèdies entre les bateries NCA i LFP. No obstant això, aquestes bateries encara estan en fase de desenvolupament i característiques tals com la seguretat i la durabilitat encara necessiten verificar-se.

⁷ Efecte memòria – Fenomen pel qual es redueix la capacitat energètica d'una bateria degut a càrregues incompletes continuades.

7.3. Els ultracondensadors

Encara que les bateries es consideren fonts d'energia eficients, quan es tracta d'alliberar o emmagatzemar aquesta energia de manera ràpida existeixen altres sistemes que resulten més eficients. La tecnologia dels ultracondensadors (UC) resulta interessant degut a l'alta capacitat d'aquests dispositius per alliberar i acceptar elevats nivells d'energia en petites fraccions de temps. En altres paraules, mentre que la potència específica de les bateries no sobrepassa 1 kW/kg, la potència específica dels ultracondensadors és d'un ordre de magnitud superior, és a dir, de fins a 10 kW/kg. Tanmateix, degut a les propietats físiques fonamentals d'aquest sistema, els UC no permeten emmagatzemar grans nivells d'energia, o sigui, presenten una energia específica relativament baixa.

Els UC són sistemes tancats que, a diferència del principi operatiu de les bateries, l'obtenció d'energia no es realitza a partir d'una transformació química. Els UC són dispositius els quals emmagatzemen energia a partir de la sustentació d'un camp elèctric. En altres paraules, s'estableix una diferència de potencial entre dues superfícies conductores separades per un dielèctric⁸. Cadascuna d'aquestes superfícies adquireix una càrrega elèctrica, una de les quals és positiva i l'altre negativa.

Per a avaluar el potencial d'un condensador per a emmagatzemar energia s'han de considerar dos aspectes: la quantitat d'energia acumulada (Ah) i la màxima diferència de potencial (V) que es pot establir entre les dues superfícies conductores. Per una banda, la quantitat d'energia acumulada està condicionada per l'espai disponible que tinguin per ocupar els electrons. Aquest espai està determinant per les dimensions i les propietats del material de la superfície conductora o placa. D'altra banda, la màxima diferència de potencial està limitada per les propietats del material dielèctric. Aquests dos paràmetres físics restringeixen en gran mesura el rendiment d'aquests dispositius, de tal manera que la utilització dels UC es limita a aplicacions que requereixin baixos nivells energètics.

Malgrat les limitacions físiques existents en els condensadors, durant els darrers anys la comunitat científica ha desenvolupat UCs amb molta més capacitat per acumular energia que els condensadors tradicionals gràcies al desenvolupament de la nanotecnologia⁹. Encara que el principi físic de funcionament és el mateix, l'estructura molecular dels UC difereix de la dels condensadors tradicionals.

⁸ Material dielèctric- material amb baixa conductivitat elèctrica, és a dir, un aïllant.

⁹ Nanotecnologia- Tecnologia que es dedica al disseny i la manipulació de matèria a nivell d'àtoms o molècules.

En comptes del sistema emprat en els condensadors tradicionals basat en la disposició de dues plaques separades per un dielèctric, en els UC es disposen dues capes paral·leles d'ions submergides en una substància líquida. La superfície d'aquestes dues capes apilades està formada per nano-porus, en lloc del material dielèctric utilitzat en els antics condensadors. D'aquesta manera, l'àrea disponible per a acumular energia es veu altament incrementada i el gruix de les dues capes paral·leles es minimitza considerablement.

7.4. Utilització combinada de bateries i UC

Malgrat les limitacions actuals que presenten els UC associats a la seva capacitat per emmagatzemar energia, aquests dispositius es caracteritzen per entregar una gran quantitat de potència. Com a conseqüència, aquests dispositius poden complementar les fonts d'energia. D'aquesta manera, la bateria es pot dissenyar per tal de proporcionar la potència mitja, mentre que els UC poden proporcionar els pics de potència necessaris en determinades ocasions.

Els UC poden ser dissenyats per a respondre a elevades fluctuacions de carga en els circuits d'un EV. Aquest fet suposa una efectiva dissociació entre el subministrament d'energia i de potència, de tal manera que es pot simplificar dràsticament el disseny dels motors elèctrics.

8. Unitats de control electrònic

El que ha convertit avui en dia els moderns EVs en productes competitius dins del sector de l'automoció són els ECUs. Aquests components electrònics actuen com el cervell de cada dispositiu electrònic dins d'una màquina elèctrica. En el cas dels moderns EV, aquests components han revolucionat el control en el subministrament energètic dels EMs. Una de les funcions més importants d'aquests dispositius és la de controlar la quantitat d'energia entregada i consumida per el motor elèctric mitjançant la regulació del voltatge, corrent i freqüència de l'EM.

En els primers models de EVs, dissenyats a començaments del segle XX, el control d'energia s'aconseguia de manera mecànica, mitjançant interruptors i reòstats (resistències variables). Aquests sistemes mecànics actuaven lentament davant la resposta als inputs del conductor, dissipaven grans quantitats d'energia i proporcionaven un limitat control de la velocitat. Actualment, ECUs activen el subministrament d'energia en els EVs a través de senyals digitals, les quals proporcionen un resposta infinitament més ràpida.

ECU és un terme genèric que fa referència a tots aquells dispositius que tenen com a funció el control de l'energia elèctrica en un vehicle. Cadascun d'aquest dispositius s'encarrega d'una funció específica dins del sistema de propulsió del vehicle.

8.1. Sistema de gestió de la bateria

El BMS (Battery Management System) [12] és la ECU encarregada de la monitorització i control de diversos paràmetres relacionats amb l'estat de la bateria. Gràcies a aquest dispositiu es garanteix un ús òptim de la bateria i el seu bon funcionament dins la seva àrea operativa de seguretat, i.e. les condicions de corrent i voltatge adequades per la bateria.

El grau de sofisticació d'un BMS dependrà de la diversitat de funcions de control i monitorització que ofereixi. En general, quanta més funcionalitat tingui aquest ECU, millor tractament rebrà la bateria i, consegüentment, més llarga esdevindrà la seva vida útil.

Una altra funció rellevant que dur a terme el BMS és la de controlar la recàrrega de la bateria gràcies a l'energia recuperada mitjançant el procés de frenada regenerativa (Capítol 9). D'aquesta manera, es garanteix un aprofitament màxim d'aquesta energia recuperada i s'eviten sobretensions que poguessin perjudicar la integritat i el funcionament correcte de la bateria.

8.2. Carregador interior del vehicle

El carregador interior del vehicle és el dispositiu que s'encarrega de transformar l'energia que prové de la xarxa elèctrica per a que pugui ser acceptada per la bateria. El carregador de la bateria està format fonamentalment per dos elements disposats de manera consecutiva. El primer és un convertidor AC/DC o, altrament anomenat, rectificador, el qual s'encarrega de transformar la corrent alterna de la xarxa elèctrica en corrent continua, i el segon és un convertidor DC/DC, el qual redueix el voltatge d'entrada.

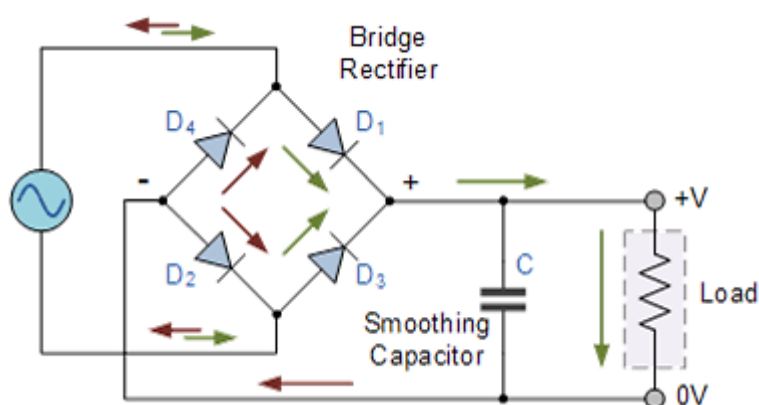


Figura 8.1 Circuit rectificador bàsic amb filtratge per condensador – Font: Electronics Tutorials per Electronics Tutorials Team

El circuit rectificador mostrat en la **Figura 8.1** està format per un pont rectificador o pont de Graetz i per un condensador. El pont rectificador està format per quatre o més díodes que permeten canviar el corrent d'entrada, que varia periòdicament de direcció, en un corrent unidireccional. El condensador permet filtra l'arissament del corrent de sortida del pont rectificador.

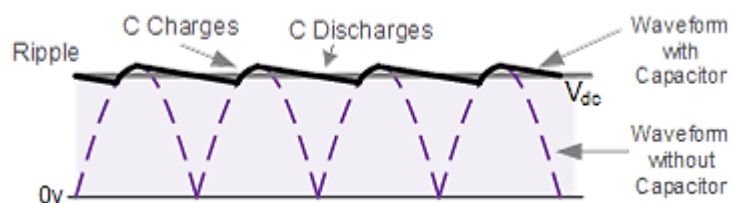


Figura 8.2 Forma d'ona de sortida del rectificador amb i sense condensador – Font: Electronics Tutorials per Electronics Tutorials Team

En la **Figura 8.2** es mostra la senyal de sortida del pont rectificador i la senyal de sortida del condensador. Tal i com s'indica en la figura, gràcies als processos de càrrega i descàrrega de les plaques conductores del condensador es pot minimitzar l'arissament fins a aconseguir gairebé una senyal de sortida constant.

8.3. Controlador del motor/inversor

L'inversor és l'element encarregat del control i subministrament de potència al motor elèctric. Aquest dispositiu canvia el voltatge d'entrada de corrent continu (provinent de la bateria) a un voltatge simètric de sortida de corrent alterna per a alimentar el motor elèctric. L'amplitud i freqüència de sortida del corrent elèctric estan determinades pels inputs del conductor mitjançant la regulació a l'accelerador.

El controlador del motor també s'encarrega de la conversió del corrent en alterna a corrent continua—corrent necessari per recarregar la bateria— quan el motor passa a actua com un generador, és a dir, durant el procés de frenada regenerativa (capítol 9).

La modificació del senyal d'entrada es realitza a partir del control precís de transistors tipus MOSFET¹⁰ (Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor) de gran potència o IGBT¹¹ (Insulated-Gate Bipolar Transistor). Aquests transistors es commuten gràcies als senyals de control de la tècnica PWM¹² (Pulse Width Modulation) per tal de crear la senyal alterna de sortida (**Figura 8.3**).

¹⁰ MOSFET – Transistor (dispositiu semiconductor) utilitzat per amplificar o commutar senyals elèctriques o electròniques.

¹¹ IGBT – Transistor (dispositiu semiconductor) utilitzat com a interruptor controlat en els circuits d'alta potència.

¹² PWM – La modulació per amplitud de polsos d'una senyal o font d'energia és una tècnica utilitzada, d'entre altres funcions, per a controlar la quantitat d'energia que s'envia a una càrrega.

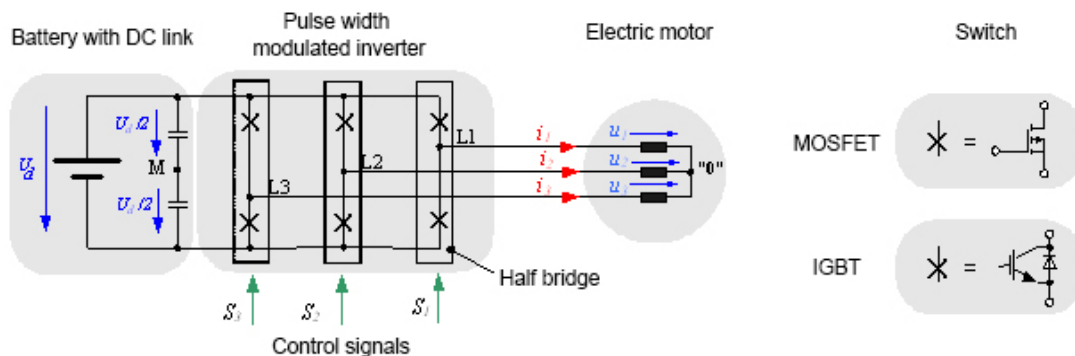


Figura 8.3 Esquema elèctric bàsic d'un inversor trifàsic amb PWM– Font: HBM Test and Measurement

8.4. Unitat de control del vehicle i convertidor DC/DC

El VCU (Vehicle Control Unit) és la ECU que s'encarrega del control general de les operacions del vehicle. El VCU disposa d'un conjunt de sensors que li proporcionen informació i d'uns actuadors per tal d'executar unes determinades comandes. Aquest dispositiu també disposa d'un convertidor DC/DC per tal de proporcionar l'energia elèctrica adient a altres components del vehicle elèctric, com és el cas de la pantalla d'informació pel conductor, la botzina o les llums.

El VCU s'encarrega de gestionar tota la informació provinent dels subsistemes de vehicle elèctric. A més, el VCU és el dispositiu que té la funció d'interpretar les senyals d'entrada del conductor; com ara l'acceleració, la frenada, l'accionament dels intermitents, etc., i executar les comandes necessàries.

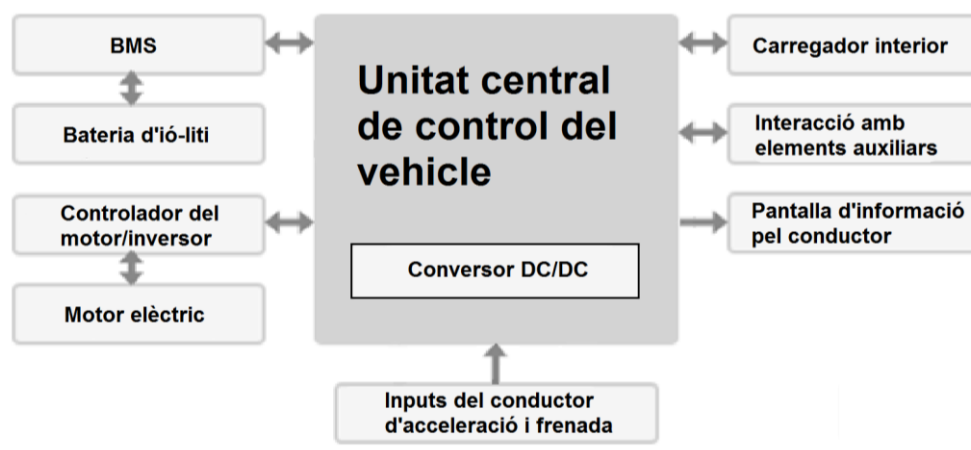


Figura 8.4 Unitat central del control del vehicle

9. Frenada regenerativa

L'energia cinètica¹³ que obté un vehicle obtinguda durant l'acceleració és consumeix degut diversos factors tals com la resistència aerodinàmica i la resistència al rodament del vehicle. Una part significativa d'aquesta energia que posseeix qualsevol vehicle que es desplaça a una certa velocitat és consumeix (malgasta) durant el procés de frenada.

Els motors elèctrics tenen la capacitat de funcionar com a generadors, de tal manera que es pot convertir l'energia cinètica del vehicle en energia elèctrica. Gràcies a aquesta característica, aquests motors poden recuperar certes quantitats d'energia quan hom vol disminuir la velocitat de circulació, és a dir, en els processos de frenada del vehicle o quan es circula per trams descendents. Aquesta funció, que pot dur a terme el EV, es designa amb el nom de frenada regenerativa.

La frenada regenerativa imposa dues condicions essencials de disseny per als sistemes dels EVs. En primer lloc, el sistema elèctric ha de ser capaç d'acceptar i emmagatzemar entrades d'energia elèctrica. En segon lloc, el sistema elèctric ha de ser capaç d'acceptar altes potències d'entrada a fi de maximitzar el potencial de recuperació energètica del vehicle.

Apart de la recuperació energètica, l'ús de sistemes de frenada regenerativa també comporta un desgast menor dels frens convencionals i, per tant, períodes de manteniments més extensos per aquests elements. Ara bé, la frenada regenerativa també presenta algunes limitacions. A baixes velocitat l'energia cinètica del vehicle es tan baixa que l'aprofitament energètic és gairebé negligible. A més, cal tenir en compte que si la bateria està completament carregada no es pot absorbir l'energia dissipada en el procés de frenada.

¹³ Energia cinètica- En física, l'energia cinètica d'un cos és aquella que posseeix deguda al seu moviment.

10. Infraestructura de recàrrega del vehicle elèctric

La tecnologia, per si mateixa, és considerada inservible per als consumidors del mercat a gran escala, a menys que aquesta tecnologia pugui ser transformada en una solució com a producte complet. Així mateix, la tecnologia dels vehicles de combustió interna va ser i segueix sent exitosa, en part, gràcies al ràpid establiment d'una àmplia infraestructura per a la recàrrega de combustible.

En els darrers anys s'ha demostrat que les autonomies dels EVs moderns satisfan còmodament la distància mitja recorreguda diàriament pels usuaris, tant en àmbits urbans com en àmbits suburbans. Si es té present que aquesta distància mitja recorreguda diàriament en el territori espanyol és de 26,4 km (registrada l'any 2012) [19] i que usualment els usuaris recarreguen les seves bateries durant la nit, els usuaris no haurien de veure's afectats pel fet de tindre que recarregar les seves bateries en algun moment en mig de les seves activitats diàries. Per aquest motiu, fins a dia d'avui, els sistemes de recàrrega dels EVs s'han basat en la connexió al subministrament de la xarxa elèctrica de baixa tensió, present en qualsevol habitatge.

10.1. Punts de recàrrega convencional i semi-ràpida

Els dos tipus de recàrrega més emprats a dia d'avui [13] són la recàrrega convencional i la recàrrega semi-ràpida.

La recàrrega convencional utilitza els mateixos nivells d'intensitat i voltatge que s'utilitzen en qualsevol habitatge, és a dir, 16 ampers i 230 V. Això implica que la potència elèctrica que pot entregar el punt de recàrrega és d'aproximadament 3,7 kW. Amb aquest nivell de potència, el procés de recàrrega de la bateria triga unes 8 hores aproximadament.

En la recàrrega semi-ràpida s'utilitza una intensitat de 32 ampers i una tensió de 230 V. Això implica que la potència elèctrica que pot entregar el punt de recàrrega és d'aproximadament 7,3 kW. Amb aquest nivell de potència, el procés de recàrrega de la bateria triga unes 4 hores aproximadament.

Aquestes solucions, des d'un punt de vista d'eficiència energètica, són idònies per a la recàrrega del vehicle durant la nit ja que és quan la demanda energètica és més baixa.

10.2. Punts de recàrrega ràpida

Darrerament, s'ha començant a proposar per algunes empreses d'automòbils elèctrics, tals com l'empresa xina BYD i l'empresa californiana Tesla, un mètode per a disminuir els temps de recàrrega. Aquest mètode consisteix en la recàrrega d'energia elèctrica a partir de punts de connexió d'alta potència, de tal manera que es proporciona a la bateria del EV un major volum energètic en un espai de temps determinat.

Segons les propostes d'aquests fabricats, una connexió amb una alimentació de 50kW podria reduir teòricament el temps de recàrrega d'una bateria hipotètica de 25kWh fins a uns 30 minuts, o el que és el mateix, aquesta connexió proporcionaria aproximadament 5,5 km d'autonomia per a cada minut de connexió, si considerem una eficiència del motor de 151,51 Wh/km.

Apart dels aspectes positius, aquestes solucions per a recàrregues més ràpides presenten algunes limitacions. La velocitat a la qual es pot proporcionar energia a una bateria està limitada per la velocitat de les reaccions químiques que es donen dins de la bateria. Les bateries accepten alts nivells de potència quan es troben a un baix nivell de càrrega. Tanmateix, a mesura que l'estat de càrrega de la bateria augmenta, també augmenta la resistència interna de les cèl·lules de la bateria. Conseqüentment, les altes entrades de potència no es poden sostenir quan la bateria es troba en un alt nivell de càrrega ja que es generaria un sobreescalfament del dispositiu. Addicionalment, cal també tenir present l'impacte que aquests endolls d'alta potència generen a la xarxa elèctrica en relació a la distorsió harmònica i la fluctuació de la càrrega.

Degut a les limitacions d'aquests solucions, resulta imprescindible instal·lar avançats sistemes de monitorització d'aquests punts de recàrrega ràpida per tal de, en primer lloc, garantir que l'entrada de potència s'ajusti a l'estat de càrrega de la bateria i per tal de, en segon lloc, evitar sobrecàrregues a la xarxa elèctrica.

10.3. Punts de recàrrega en la ciutat de Barcelona

Sense perdre de vista que la solució del projecte es desitja implantar fonamentalment en zones urbanes, en aquest apartat es revisa la infraestructura de punts de recàrrega establerta en la ciutat de Barcelona, que és la ciutat en la que es realitzaria la primera implantació de l'artefacte.

Cal tenir present que per tal que l'artefacte proposat tingui èxit, al igual que qualsevol altre EV, és essencial que s'estableixi al seu voltant les condicions necessàries per a la seva implantació. Una d'aquestes condicions, probablement la més important, consisteix en una

repartició uniforme i adequada en el nombre de punts de recàrrega per tota la superfície urbana.

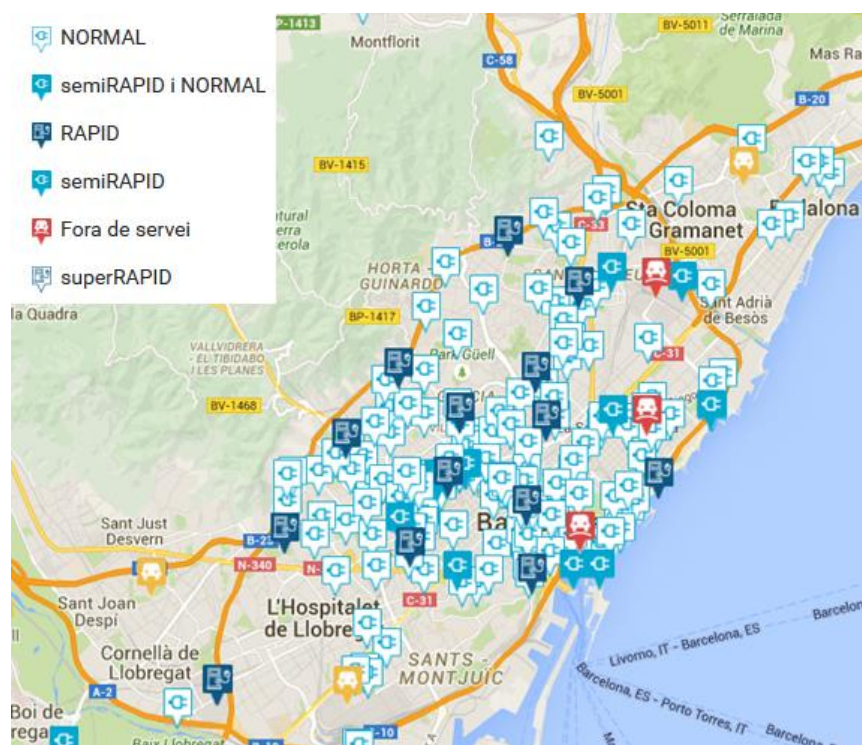


Figura 10.1 Distribució dels punts de recàrrega a la ciutat de Barcelona. – Font: Institut Català d'Energia (ICAEN) (2016)

Tal i com s'aprecia en la **Figura 10.1** hi ha establerta una nombrosa xarxa de punts de recàrrega en gairebé tota la zona metropolitana de Barcelona. A dia d'avui, la majoria d'aquests punts de recàrrega consisteixen en el tipus de punt de recàrrega convencional (els punts designats com a 'NORMAL' en el mapa). A mesura que la tecnologia dels punt de recàrrega ràpida es vagi desenvolupant i assentant en el mercat dels vehicles elèctrics, els punts de recàrrega ràpids s'aniran establint progressivament en la superfície urbana.

11. Alternatives en el mercat

Per tal de trobar solucions que resolguin la problemàtica plantejada, dins del segment dels quadricicles, cal analitzar les alternatives d'aquests vehicles que es trobin actualment en el mercat. En aquest apartat s'analitzen les especificacions tècniques i els preus de venda al públic de cadascun dels quadricicles elèctrics més rellevants en el sector de l'automoció, tant aquells comercialitzats a Espanya com aquells comercialitzats en altres indrets del món.

L'anàlisi detallat de les especificacions tècniques de cada vehicle permet establir uns valors de referència dels paràmetres tècnics que ha de tenir l'artefacte final, així com detectar les mancances i els punts forts de cadascun d'aquests vehicle. Per tal d'oferir un artefacte que satisfaci les necessitats dels usuaris finals, es imprescindible realitzar aquest anàlisi i interpretar correctament totes les dades recopilades.

Actualment existeixen varies companyies automobilístiques que han apostat per la comercialització del quadricicle elèctric. D'entre totes elles, en aquest apartat s'analitzen aquelles que compten amb els quadricicles més destacats del mercat. Aquests quadricicles són les dues versions del Renault Twizy, el model e2 de la companyia americana Global Electric Motorcars, el model e-city de la companyia francesa Aixam-Mega, i les versions Reva-i i Reva L-ion del fabricant d'automòbils indi Mahindra Electric Vehicles.

11.1. El Renault Twizy

El Renault Twizy és un vehicle elèctric biplaça produït per el fabricant francès d'automòbils Renault. La seva producció es va iniciar en l'any 2011 i actualment està disponible en dos versions: el Twizy 45 i el Twizy 80, que estan equipats amb un motor AC d'inducció de 4kW i 8kW respectivament. Tot i que els darrers tres anys les vendes d'aquest vehicle han baixat, durant el 2012 el Renault Twizy es va convertir en el vehicle elèctric més venut a Europa. Les vendes enregistrades des de l'inici de producció en l'any fins el mes d'abril de 2015 són de 15274 unitats [17].

Un dels aspectes destacats del Renault Twizy és que, tot i tractar-se d'un quadricicle, les seves dimensions són excepcionalment petites. Degut a la seva longitud de 2338 mm i la seva amplada de 1094 mm, es poden aparcar tres Renaults Twizy consecutius en una única plaça d'aparcament convencional (4500x2500 mm) **Figura 11.1.**



Figura 11.1 Contrast de dimensions entre el Renault Twizy i una plaça d'aparcament convencional – Font: Catàleg electrònic del Renault Twizy

El grup Renault ha proposat un sistema alternatiu a la compra convencional d'un EV qualsevol. Amb la compra d'aquest vehicle, el client paga el cost de tot el vehicle menys el cost de la bateria. La bateria s'obté mitjançant un contracte de lloguer a partir de pagaments mensuals. Les tarifes de lloguer varien en funció del quilometratge anual recorregut, a més distància recorreguda, més elevada és la tarifa mensual del lloguer de la bateria. Aquest sistema permet al grup Renault vendre el Renault Twizy a un preu, a priori, més atractiu però, per contra, s'augmenten les 'despeses energètiques' del client, formades pel cost econòmic del consum energètic i el cost del lloguer mensual de la bateria.

11.2. El e2 de Global Electric Motorcars

Global Electric Motorcars és un fabricant nord-americà de vehicles elèctrics de baixes velocitats, filial del grup automobilístic Chrysler. Aquesta companyia és líder de ventes d'aquest tipus de vehicle en el mercat nord-americà, amb una producció total des de l'any 1998 de més de 41000 vehicles elèctrics [18].

La companyia oferta una ampla varietat de models en funció de la capacitat de passatgers i de la càrrega útil admissible del vehicle. El model que més s'ajusta a les característiques del tipus de vehicle estudiat en aquest projecte (quadricicle) és el model e2 de la companyia. Aquest model és un vehicle elèctric de petites dimensions pensat especialment per desplaçaments no molt llargs, com en el cas dels desplaçaments en zones urbanes.

Una de les particularitats d'aquesta empresa respecte a altres companyies que venen vehicles elèctrics del mateix tipus és que ofereixen més flexibilitat del producte. La companyia ofereix la possibilitat d'escollir entre varies bateries en funció dels requeriments

d'autonomia del client. Així mateix, la companyia també ofereix la possibilitat d'escollir entre tres opcions de recàrrega, les quals es diferencien per proporcionar diferents temps de recàrrega de la bateria.

Com que un dels objectius del projecte és oferir l'artefacte a un preu econòmic, s'ha considerat estudiar les especificacions tècniques del model e2 amb la bateria i carregador més econòmic dels oferts.

11.3. El e-city de Mega-Aixam

Mega-Aixam és una empresa francesa fabricant d'automòbils dièsel i elèctric fundada en 1983. Durant els darrers anys, aquesta companyia ha estat el major fabricant europeu de quadricicles lleugers, la majoria dels quals es poden conduir sense disposar del permís B de conducció.

11.4. El Reva del grup Mahindra Electric Vehicles

El grup Mahindra Electric Vehicles és una empresa índia fabricant d'automòbils fundada en l'any 1945. Es tracta d'un dels majors fabricants d'automòbils de l'Índia. El quadricicle que ven la companyia rep el nom de REVA i, al llarg dels darrers anys, s'han fabricat diverses versions.

El Reva és un vehicle elèctric especialment dissenyat per ser utilitzat en zones urbanes. Es tracta d'un vehicle de petites dimensions amb capacitat per transportar a 4 ocupants, encara que els passatgers del darrere han de ser menors per qüestions d'espai.

Malgrat que el model més actual de la companyia és el Mahindra e2o, es considera més oportú pel desenvolupament d'aquest projecte estudiar les versions immediatament anteriors. Tant les prestacions com el preu d'aquest últim model no s'ajusten als objectius del projecte i, per tant, no resulta interessant estudiar-ne les especificacions tècniques.

Les versions anterior són el Reva-i i el Reva L-ion. La diferència més destacable entre aquest dos models resideix en el tipus de bateria que presenten. El Reva-i disposa d'un conjunt de 8 bateries de plom-àcid de 6 V col·locades en sèrie, amb una tensió total de 48V i una capacitat de càrrega de 195 Ah, és a dir, una energia de 9,36 kWh. D'altra banda, el Reva L-ion disposa d'una bateria ió-liti de 51 V i una capacitat de càrrega de 190 Ah, és a dir, una energia de 9,69 kWh. A part del beneficis inherents que comporten les bateries amb tecnologia ió-liti, la bateria del Reva L-ion és 100 kg més lleugera i entrega una potència major.

11.5.Comparativa de les especificacions tècniques

A continuació es mostra una taula comparativa de les especificacions tècniques de cada quadricicle. No es disposa del valor d'alguns paràmetres ja que el fabricant no els proporciona.

	<i>TWIZY 45</i>	<i>TWIZY 80</i>	<i>GEM e2</i>	<i>Aixam-Mega e-city</i>	<i>REVAi</i>	<i>REVA L-ion</i>
<i>Homologació</i>	Quadricicle lleuger (L6e)	Quadricicle pesat (L7e)	-	-	Quadricicle pesat (L7e)	Quadricicle pesat (L7e)
<i>Número de places</i>	2	2	2	4	4	4
DIMENSIONS (mm)						
<i>Longitud</i>	2338	2338	2620	2959	2638	2638
<i>Amplada</i>	1094	1094	1410	1492	1324	1324
<i>Alçada</i>	1454	1454	1860	-	1510	1510
MOTOR						
<i>Tipus de motor</i>	AC Inducció	AC Inducció	AC Inducció	-	AC Inducció	AC Inducció
<i>Potència (kW)</i>	4	13	5	8	12	14,5
<i>Parell màxim (Nm)</i>	33	57	-	-	235	250
<i>Règim parell màxim (r.p.m.)</i>	De 0 a 2050	De 0 a 2100	-	-	De 0 a 2000	De 0 a 2000
CAIXA DE VELOCITATS						
<i>Relació de desmultiplicació¹⁴</i>	1 : 13,4	1 : 9,23	-	-	-	-
PRESTACIONS						
<i>Velocitat màxima (km/h)</i>	45	80	41	64	80	80

¹⁴ Relació de desmultiplicació – Relació de transmissió utilitzada per reduir la velocitat angular de gir del motor i augmentar el parell mecànic transmès a les rodes.

0-45 km/h (s)	9,9	6,1	-	-	-	-
30-60 km/h (s)	5 (fins a 45 km/h)	8,1	-	-	-	-
CONSUM CICLE URBÀ ECE-15¹⁵						
Autonomia certificada ¹⁶ (km)	120	100	-	-	80	120
Autonomia real (km)	50 a 80	50 a 80	30	65	-	-
Wh / km	58	63	94	90	110	100
AERODINÀMICA I CAPACITAT						
C _x	0,64	0,64	-	-	-	-
Capacitat d'energia (kWh)	6,1	6,1	10	10	9,36	9,69
MASSES (kg)						
En buit en ordre de marxa ¹⁷ (sense bateria)	446 (375)	474 (375)	544	750	665 (395)	519 (395)
Total (MTR)	685	690	907	1025	940	794
Càrrega útil ¹⁸ (CU)	110	115	363	-	275	275
P.V.P. (€)	7220*	7930*	7997,68	15570	10995	12995

Taula 11.1 Especificacions tècniques dels quadricicles més rellevants al mercat

¹⁵ Certificació amb cicle ECE-15 – Certificació a partir del cicle de conducció en zones urbanes normalitzat a nivell europeu.

¹⁶ Certificació realitzada per l'UTAC (United Test and Assembly Center).

¹⁷ Massa en buit en ordre de marxa – massa del vehicle i la d'un conductor estàndard de 75kg sense considerar el pes del carburant (ICV).

¹⁸ Càrrega útil – Massa de passatges i equipatge màxima que pot suportar el vehicle.

*Aquest preus no inclouen el lloguer de la bateria.

La capacitat d'ocupants d'aquest vehicles és en el cas del aixam-mega e-city i dels models del REVA de 4 passatgers, segons detallen els fabricants respectius. A efectes pràctics, els passatgers del darrere no disposen del mateix espai físic que els ocupants del davant. Tots els vehicles analitzats estan especialment dissenyats per al transport de dos passatgers.

En referència a les dimensions dels vehicles, tots presenten una longitud menor als 3 metres. Aquesta mida reduïda facilita en gran mesura les maniobres d'estacionament en zones urbanes.

El rang de potències dels motors d'aquests vehicles està comprès entre els 4 i els 14,5 kW. De manera comparativa amb vehicles d'altres segments, les potències no són gaire elevades. Això és perquè es tracta de vehicles de poca massa (en comparació amb automòbils d'altres segments) i les velocitats màximes de les zones en les que teòricament han de circular aquests vehicles són inferiors als 50 km/h.

Si es té present que la distància mitja recorreguda diàriament en el territori espanyol és de 26,4 km, es pot afirmar que les autonomies d'aquests vehicles satisfan els requeriment dels usuaris.

La variabilitat en els consums energètics dels vehicles (Wh/km) és deguda principalment a la variabilitat en les potències i les masses dels vehicles. Per a un mateix cicle de conducció, a major potència i massa del vehicle, major és el consum energètic.

El paràmetre que no s'ajusta a la naturalesa d'aquests vehicles és el **preu**. Aquests preus no s'ajusten a les característiques que ofereixen aquests vehicles i, per consegüent, es dificulten les vendes d'aquest tipus de vehicles. Els preus de les dues versions del Renault Twizy es poden considerar, a priori, acceptables. A continuació es realitza un estudi detallat per determinar les 'despeses energètiques' d'un usuari d'un Renault Twizy.

11.5.1. P.V.P. del Renault Twizy i el sistema de lloguer de les bateries

Una de les moltes avantatges del EV és que el cost de l'energia elèctrica per recarregar el vehicle, és a dir, el preu del kWh de la xarxa elèctrica domèstica és significativament més barat que el preu del litre de gasolina i gasoil. Aquesta diferència de preus fa que existeixi un estalvi considerable en referència a les despeses associades al consum energètic del EV. Malgrat això, amb el sistema de lloguer de bateries proposat per Renault resulta complicat determinar de manera directa si existeix un estalvi econòmic real entre les 'despeses energètiques del EV' i 'les despeses energètiques d'un ICV'.

El consum energètic d'un vehicle es pot expressar com l'energia consumida per unitat de distància recorreguda, és a dir en kWh/km. No obstant això, en els ICV aquest consum energètic generalment s'indica en una unitat física —el volum de combustible—, en comptes d'expressar-se en unitats d'energia. Així doncs, el consum energètic d'un ICV s'expressa en l/km o, com és mostra de manera més habitual en les fitxes tècniques dels ICV, en l/100km.

Les despeses energètiques associades al Renault Twizy consisteixen en el consum energètic (expressat en kWh/km) i les despeses de lloguer de la bateria. D'altra banda, la despesa energètica associada al ICV és el consum de carburant (expressat en l/100km).

Per comparar de manera entenedora les despeses energètiques del Renault Twizy i la d'un ICV, es calculen les unitats monetàries per unitat de distància recorreguda (€/km) associades a les despeses energètiques de cada vehicle.

L'ICV amb el que es realitzen els càlculs comparatius és el Dacia Sandero 1.2 55kW (75CV), un model d'ICV econòmic del mateix grup Renault.

€/km del Renault Twizy 80

Dades:

- Lloguer mensual bateria (condicionat al compliment d'un quilometratge màxim anual) : 50 €/mes
- Quilometratge màxim anual : 7500 Km/any
- Preu del kWh: 0,12 €/kWh
- Consum energètic = 0,063 kWh/km (Renault Twizy 80)

La despesa energètica total del Renault Twizy s'expressa com:

$$Despesa\ total = Despesa\ lloguer\ bateria + Despesa\ consum\ energia\ elèctrica$$

Equació 11.1 Despesa energètica total del Renault Twizy

La despesa associada al consum d'energia elèctrica es calcula com:

$$Despesa\ consum\ energia\ elèctrica = Consum\ energètic \times Preu\ del\ kWh$$

Equació 11.2 Despesa del consum d'energia elèctrica

La despesa associada al lloguer de la bateria es calcula com:

$$Despesa \text{ lloguer bateria} = \text{Lloguer mensual} \times 12 \frac{\text{mesos}}{\text{any}} \times \text{Quilometratge anual}^{-1}$$

Equació 11.3 Despesa del lloguer de la bateria

Amb les dades proporcionades del Renault Twizy 80 s'obté:

$$Despesa \text{ consum energia elèctrica} = 0,00756 \text{ €/km}$$

$$Despesa \text{ lloguer bateria} = 0,08 \text{ €/km}$$

$$Despesa \text{ total} = 0,00756 + 0,08 = \mathbf{0,08756 \text{ €/km}}$$

Cal destacar que la **despesa associada al lloguer de la bateria** representa el **91,37 %** de la despesa total, mentre que la **despesa associada al consum d'energia elèctrica** representa només un **8,63 %** del cost total.

€/km del Dacia Sandero 1.2 55kW (75CV)

Dades:

- Preu del litre de gasolina: 1,4 €/l
- Consum de carburant en cicle combinat: 5,8 l/100km

La despesa energètica d'aquest ICV es calcula com:

$$Despesa \text{ energètica} = \text{Consum carburant} \times \frac{1}{100} \times \text{Preu del litre de carburant}$$

Equació 11.4 Despesa energètica d'un ICV

Amb les dades facilitades, la despesa energètica resulta:

$$Despesa \text{ energètica} = 0,0812 \text{ €/km}$$

Valoració

Tal i com es pot apreciar, la despesa energètica total del Renault Twizy 80 (0,08756 €/km) és superior a la despesa energètica del Dacia Sandero 1.2 75CV (0,0812 €/km). Dit d'una altra manera, la despesa energètica del Renault Twizy 80 és un **7,83%** superior a la despesa energètica del Dacia Sandero 1.2 75CV.

Avui en dia, degut a l'ús estès del ICV, els valors de referència dels consum energètics dels vehicles s'expressen com el consum de carburant per 100 km de distància recorreguda (l/100km). Per tant, per mostrar de manera més visual la despesa energètica total del Renault Twizy, aquesta es pot expressar en les mateixes unitats que la despesa energètica dels ICV (el consum de carburant). Així doncs, considerant un preu del litre de gasolina de 1,4 €/l, la despesa energètica total del Renault Twizy 80 de 0,08756 €/km equival a **6,25 l/100km**.

Mentre que el preu del Dacia Sandero 1.2 75CV (8430€) i el preu del Renault Twizy 80 (7930€) són bastant similars, el consum energètic (expressat en les mateixes unitats) del Twizy 80 (6,25 l/100km) és superior al consum energètic del Dacia Sandero 1.2 75CV (5,8 l/100 Km). En definitiva, encara que el preu del Renault Twizy sigui a priori atractiu, tal i com s'ha demostrat, les despeses energètiques són molt elevades per tractar-se d'un EV.

12. Variables del sistema i restriccions

En aquesta fase es fixen els principals paràmetres i restriccions per tal de realitzar el plantejament del projecte.

Una variable del sistema solució és un paràmetre, el valor del qual condiciona d'alguna manera el sistema solució que resol el conflicte. Una restricció és un límit per a una variable que impedeix al equip del projecte assignar-li qualsevol valor. Les variables de disseny relacionades amb aquest projecte i les seves respectives restriccions són les següents:

Dimensions. La manejabilitat de l'artefacte en àrees urbanes estarà determinada per les dimensions que aquest tingui. De les tres cotes que determinen les dimensions de l'artefacte, és a dir la longitud, l'amplada i l'alçada; la longitud és la cota que més ens interessa ajustar. Com més petita sigui la longitud de l'artefacte, major serà la probabilitat de trobar aparcament per a l'usuari raó de ser.

Autonomia. La capacitat de la bateria determinarà la distància total que pot recórrer l'artefacte en una sola càrrega.

Restricció: La capacitat energètica d'una bateria està limitada per l'estat de la tècnica i les dimensions d'aquesta. En altres paraules, malgrat la tecnologia millora periòdicament, el valor de la energia específica de les bateries (Wh/kg) està determinada per les tecnologies que s'empren actualment.

Infraestructura de recàrrega en les zones urbanes. Tal com s'ha comentat en l'apartat 10.3, la majoria dels punts de recàrrega en la ciutat de Barcelona, i en la resta de ciutats on s'han implantat punts de recàrrega per a vehicles elèctrics, són punts de recàrrega convencional, és a dir, amb uns nivells d'intensitat i voltatge de 16A i 230V.

Restricció: Aquesta manca de punts amb velocitats de recàrrega més elevades suposa una limitació alhora de seleccionar el mètode de recàrrega per l'artefacte. En altres paraules, de poc serveix dotar a l'artefacte d'un carregador interior de recàrrega ràpida si la infraestructura de recàrrega no disposa de les condicions necessàries per a que s'efectuï una recàrrega més veloç.

P.V.P. Un dels objectius principals d'aquest projecte és el d'oferir un artefacte econòmic. Tot i que, per a assolir aquest objectiu, en aquest projecte s'analitzen tots els components que integren l'artefacte en base a les seves especificacions tècniques i els seus costos, el preu final de l'artefacte no és pot determinar de manera objectiva. Qualsevol determinació del preu final hauria de ser en base a estimacions.

Restricció: Aquesta impossibilitat per determinar amb exactitud el preu final de l'artefacte és deguda al desconeixement dels costos associats al projecte que no siguin els costos dels propis components. Per consegüent, tampoc és pot determinar el marge de benefici¹⁹ de l'artefacte.

Massa. La massa de l'artefacte variarà en funció dels elements que conformen l'artefacte i dels materials dels quals estan fets aquests elements. Per a aquest projecte es busca minimitzar aquest paràmetre a fi d'optimitzar la manejabilitat i l'autonomia de l'artefacte.

Restricció: La necessitat de fabricar l'artefacte amb uns determinats materials per a garantir unes condicions adequades de seguretat i comoditat en l'artefacte [9] delimita el conjunt de materials que es poden escollir per a la fabricació de l'artefacte i, per tant, també delimita el rang de valors que pot prendre el paràmetre massa.

Capacitat d'ocupants. En aquest projecte es pretén dissenyar un artefacte que s'adapti a les condicions de desplaçaments urbanes. Per aquest motiu, la capacitat d'ocupants de l'artefacte s'haurà d'adaptar a l'ocupació mitja dels vehicles privats en els desplaçaments urbans a Espanya, que és de 1,3 passatgers per vehicle privat. Així doncs, la capacitat d'ocupants de l'artefacte ha de ser de 2 passatgers.

¹⁹ Marge de benefici – Diferència entre el preu de venda, sense IVA, i els costos de producció o adquisició d'un producte.

13. Anàlisi d'usuaris i usuàries i necessitats

13.1. Sistemes que interaccionen amb el sistema solució

Per tal de resoldre el conflicte plantejat en els projecte es necessari descriure cadascuna de les parts que conformen la cadena d'aprovisionament. Cadascuna d'aquestes parts s'anomena sistema i està formada per tres elements: la persona (o usuari), l'artefacte i l'ambient (o entorn). L'usuari és la persona que forma part i/o consumeix la funció del sistema, l'artefacte és l'element a utilitzar i l'ambient és la circumstancia de lloc i moment.

Determinar els sistemes i subsistemes que defineixen la cadena d'aprovisionament, així com els usuaris que en formen part resulta de vital importància per al bon desenvolupament del projecte i per a proporcionar al usuari final la funcionalitat requerida.

Desenvolupament del producte <ul style="list-style-type: none"> •Projectistes •Oficines 	Proveïdors <ul style="list-style-type: none"> •Empreses proveïdores •Fàbriques •Components del producte final 	Manufactura <ul style="list-style-type: none"> •Equip per la fabricació del producte final •Fàbrica •Producte final 	Transports <ul style="list-style-type: none"> •Transportistes •Carreteres •Camió 	Raó de ser <ul style="list-style-type: none"> •Usuari final •Zones urbanes •Producte final
Tècnic <ul style="list-style-type: none"> •Equip tècnic •Oficines i tallers •Producte final 	Gestor <ul style="list-style-type: none"> •Equip gestor •Oficines 	Transport públic <ul style="list-style-type: none"> •Empreses vinculades al transport públic 	Mercat competència <ul style="list-style-type: none"> •Empreses de la competència del sector 	Finançament <ul style="list-style-type: none"> •Equip accionista •Oficines

Taula 13.1 Sistemes persona-artefacte-ambient que intervenen projecte

El sistema desenvolupament del producte està format per l'equip de projectistes, els quals s'encarregaran fonamentalment de la fase de disseny, és a dir, la fase en que es transforma la idea inicial en un projecte definit.

El sistema proveïdors està format per totes aquelles empreses encarregades de subministrar els components que conformen el producte final. Aquest sistema interacciona amb el subsistema operacions del sistema gestor. Els usuaris dels dos sistemes estan en

contacte per tal de dur terme la funció d'aprovisionament.

El sistema manufactura és el que s'encarrega de la fabricació del producte final i de la instal·lació de la maquinària necessària per a tal fi.

El sistema transports és el que s'encarrega de realitzar els desplaçaments tant de les peces i component com del producte final.

El sistema raó de ser és aquell que es troba al final de la cadena d'aprovisionament. Aquest sistema està format per l'usuari final, el producte final i les zones urbanes; en altres paraules, el sistema raó de ser està format per aquelles persones interessades en utilitzar el producte final proposat en zones urbanes.

El sistema tècnic s'encarrega d'oferir el servei post-venda a l'usuari final. Així doncs, aquest sistema interacciona directament amb el sistema raó de ser. Aquest sistema té dos ambient: el taller, que és el lloc on els usuaris operadors del sistema tècnic realitzen modificacions en el producte final, i les oficines, que és on els usuaris del sistema tècnic atent a l'usuari raó de ser.

El sistema gestor està conformat per diversos subsistemes. Aquests subsistemes són el d'operacions, el de manteniment, el comercial, el de màrqueting, el de control de qualitat, el de recursos humans, l'administratiu i el d'atenció al client. El subsistema operacions s'encarrega de gestionar les funcions d'aprovisionament, emmagatzematge, planificació i producció, i logística i transport.

Altres sistemes a considerar són el sistema transport públic i el sistema mercat de la competència ja que l'ús del servei del transport públic o d'altres productes de la competència està condicionat per l'ús del producte final.

Per últim, el sistema finançament és el que s'encarrega de proporcionar els recursos econòmic per a que es pugui desenvolupar el projecte. Els usuaris d'aquest sistema tenen un elevat poder sobre el projecte i presenten un grau d'interès molt elevat en el seu desenvolupament.

13.2. Usuaris i necessitats

Els usuaris són aquelles persones o organitzacions que es veuen afectades en el desenvolupament d'un projecte. D'entre tots els usuaris en un projecte, hi ha dos que tenen especial importància: l'usuari raó de ser i l'usuari operador. L'usuari raó de ser és aquell situat al final de la cadena d'aprovisionament i que dona sentit al projecte. L'usuari operador

és aquell que realitza operacions en l'artefacte.

Bàsicament, els usuaris es poden classificar segons tres perspectives: segons la seva posició en el sistema (interns, externs o tercers), segons el temps d'utilització del sistema (habituals o esporàdics) i segons la relació que tinguin amb el seu sistema (voluntaris o forçosos). Els usuaris externs són aquells que es troben fora del sistema, els usuaris interns són aquells que formen part del sistema i els usuaris tercers són aquells que només es veuen afectats per el sistema.

Juntament amb la identificació de cada usuari es necessari definir quines són les seves necessitats en relació amb el projecte. Gràcies a la definició detallada d'aquestes necessitats posteriorment s'identificaran les especificacions tècniques que ha de satisfer la solució.

Usuari	Tipus	Notes
Conductors que utilitzin el producte final	Intern, habitual	Són els usuaris raó de ser. Aquests usuaris són els més afectat per el projecte però tenen poca capacitat de decisió en el seu desenvolupament.
Projectistes	Intern, habitual	Persones responsables del projecte i encarregades del disseny de la solució.
Proveïdors	Extern, habitual	Persones encarregades de proporcionar els components necessaris per fabricar el producte final.
Equip de fabricants	Intern operador, habitual	Personen encarregades de la fabricació del producte final.
Transportistes	Extern, habitual	Marcaran les necessitats de transport i embalatge.
Equip tècnic	Intern operador, esporàdic	Operaris que s'encarreguen de solucionar les incidències post-venda que puguin sorgir amb el producte final.

Equip gestor	Extern, habitual	Persones encarregades de la gestió. Aquest usuaris tenen gran poder de decisió.
Empreses de transport públic	Tercer	El número d'usuaris que utilitzen el servei que ofereixen es susceptible de disminuir per l'augment d'usuaris del producte final del projecte.
Empreses de la competència	Tercer	El número d'usuaris que utilitzen el producte que ofereixen es susceptible de disminuir per l'augment d'usuaris del producte final del projecte.
Accionistes	Extern, habitual	Persones amb el grau de decisió més elevat en el projecte.

Taula 13.2 Usuaris que intervenen en el projecte

Necessitats de cada usuari

Conductors que utilitzin el producte final: Desplaçar-se en un automòbil no contaminant, és a dir, la funció bàsica que l'artefacte ha de proporcionar. A més, aquest usuari espera que l'artefacte sigui de petites dimensions a fi d'optimitzar els desplaçaments urbans. Aquest usuari també tindrà la necessitat d'adquirir l'artefacte a un preu raonable.

L'usuari raó de ser també esperarà característiques fonamentals que suplementen la funció bàsica tals com una autonomia i unes prestacions adequades per a desplaçaments diaris en zones urbanes. Aquestes característiques es definiran en detall posteriorment, a partir de la identificació d'una mètrica i un valor per a cada especificació tècnica.

L'usuari final també tindrà la necessitat que es garanteixin aspectes tals com la seguretat, la fiabilitat, la durabilitat i un servei tècnic ràpid i eficient. A més, tindrà la necessitat de percebre una estètica i una qualitat adequada de l'artefacte que obtingui.

Projectistes: Obtenir remuneració econòmica pel disseny del sistema solució escollit, que les especificacions tècniques d'aquest sistema siguin clares i concises per evitar confusions i que el sistema sigui lo més senzill possible.

Proveïdors: esperen la satisfacció del client pels elements subministrats, l'èxit del projecte

per a que s'estableixin unes relacions comercials duradores i percebre els diners per les peces subministrades en els terminis acordats amb el client.

Equip de fabricants, transportistes i equip tècnic: Percebre una remuneració econòmica per la feina feta, que se'ls proporcioni eines adequades i instruccions precises per a facilitar la seva feina i poder desenvolupar la seva tasca en unes condicions laborals adequades en termes d'higiene i seguretat.

Equip gestor: Percebre una remuneració econòmica per la tasca desenvolupada dins del projecte i implementar totes les especificacions tècniques definides.

Accionistes: Obtenir els màxims beneficis al mínim cost. A més tindran la necessitat de posicionar l'artefacte al capdavant de la llista de vendes dins del sector de l'automobilisme al que formarà part el producte.

14. Estudi de la solució com a concepte

A fi de poder especificar de manera precisa què és el que el producte ha de fer, es necessari una traducció de les necessitats dels usuaris a paràmetres tècnics definits a partir d'una mètrica i un valor. Així doncs, les especificacions tècniques són la descripció precisa de el que el producte resultant ha de fer per tal de complir els objectius del projecte, descrits en el capítol 5.1.

Per a seleccionar les especificacions tècniques de l'artefacte resultant es prenen com a referència els valors de les especificacions tècniques d'altres artefactes amb característiques similars actualment al mercat, analitzats en el capítol 11. A més, per a acotar el valor de les especificacions tècniques previstes de manera més precisa, s'estudien els paràmetres de força, de potència i energètics als quals estarà sotmès el vehicle.

14.1. Especificacions tècniques previstes

Totes aquelles mètriques que tinguin com a valor 'a determinar', el seu valor es definirà en apartats successius ja que, o bé precisen de càlculs previs, o bé precisen d'un estudi més exhaustiu, com és el cas de la determinació del tipus de motor.

<i>Mètrica</i>	<i>Valor</i>
<i>Homologació</i>	Quadricicle pesat (L7e)
<i>Número de places</i>	2
<i>DIMENSIONS (mm)</i>	
<i>Longitud</i>	<3000
<i>Amplada</i>	<1400
<i>Alçada</i>	<1400
<i>MOTOR</i>	
<i>Tipus de motor</i>	A determinar
<i>Potència (kW)</i>	A determinar

PRESTACIONS	
Velocitat màxima (km/h)	60
CONSUM	
Tipus de bateria	Bateria de liti-ferrofosfat (LiFePO ₄)
Autonomia real (km)	60
Wh / km	<70
AERODINÀMICA I CAPACITAT	
C _x	<0,4
Capacitat d'energia (kWh)	A determinar
MASSES (kg)	
En buit en ordre de marxa	<450
Càrrega útil	150

Taula 14.1 Especificacions tècniques previstes

L'artefacte ha de tenir una capacitat de 2 passatger per tal d'ajustar-se a l'ocupació mitja en els desplaçaments diaris dels vehicles a Espanya d'entre 1,2 i 1,3 passatgers.

En base a les dimensions de referència dels vehicles analitzats, s'han determinat les dimensions objectius per l'artefacte.

El tipus de motor elèctric es determinarà posteriorment en l'estudi de la configuració del tren de potència.

Segons el reglament general de circulació, la velocitat màxima a les ciutats és de 50 km/h. Atès que aquestes seran les zones d'utilització de l'artefacte, sobredimensionar el motor per a que pugui oferir unes prestacions superior a les necessàries suposa unes dimensions del vehicle i un preu de venda al públic més elevat. Ara bé, es considera un marge del 20% (velocitat màxima de 60 km/h) en cas que es realitzin sortides puntuals dels nuclis urbans.

El tipus de bateria seleccionada és la bateria de liti-ferrofosfat (LiFePO_4). Aquest tipus de bateria és caracteritzada per ser la que presenta més durabilitat d'entre totes les bateries de liti i a més, també es caracteritza per proporcionar un funcionament amb una gran estabilitat química i tèrmica i, per tant, molt segur.

Tot i que la distància mitja recorreguda diàriament pels usuaris és de 26,4 km, cal tenir present que l'usuari pot presumiblement necessitar realitzar algun desplaçament puntual de més distància. Per aquest motiu, es necessari que l'artefacte pugui oferir una autonomia superior d'uns 60 km/càrrega completa de la bateria o, el que és el mateix, 60 km/desplaçament diari, en el supòsit que es recarreguin periòdicament les bateries durant la nit.

A fi de maximitzar l'autonomia del vehicle, sense haver de sobredimensionar la bateria, el consum energètic ha de ser el més reduït possible. En base als valors de consum energètic dels dos models de vehicles analitzats de la companyia Renault (58 Wh/km i 63 Wh/km), que són els dos models amb els paràmetres de potència i massa més similars a les especificacions tècniques objectiu de l'artefacte, es determina un consum energètic objectiu inferior als 70 Wh/km.

El C_x del vehicle ha d'ésser inferior a 0,4 per no perjudicar de manera significativa l'aerodinàmica del vehicle, i en conseqüència, incrementar la força de resistència a l'avançament d'aquest. Generalment, els valors de C_x per a un cotxe convencional, estan compresos entre 0,3 i 0,4.

En referència a les masses del vehicle, per a que l'artefacte formi part de la categoria L7e, la seva massa en ordre de marxa ha de ser inferior o igual a 450 kg (per el cas de transport de passatgers). Així mateix, la càrrega útil és de 105 kg, que és el resultat de la suma de la massa estàndard de una persona adulta (75 kg) més 30 kg d'equipatge.

14.2. Paràmetres de força i potència

Per a poder determinar la potència que ha de tenir el motor, es necessari estudiar les forces que actuen sobre el vehicle en la seva direcció longitudinal. Segons la segona llei de Newton, l'acceleració que adquireix un cos de massa m és directament proporcional a la força neta aplicada sobre el mateix.

$$\sum F_x = ma_x$$

Equació 14.1 Segona llei de Newton en la direcció longitudinal

Aquesta força neta que actua sobre el vehicle en la direcció longitudinal es pot expressar com:

$$\sum F_x = \text{Força tractora} - \text{Forces resistents}$$

Equació 14.2 Força neta en la direcció longitudinal

La força resistent total o força de resistència a l'avanç F_l està formada per tres components principals — la resistència aerodinàmica F_d , la resistència al rodolament F_r i la resistència gravitatòria F_c .

$$F_l = F_d + F_r + F_c$$

Equació 14.3 Força de resistència a l'avanç

La resistència aerodinàmica és la força que actua sobre un cos pel fet de desplaçar-se per un medi fluid (l'aire). Aquesta resistència resulta de les forces de fricció entre el flux d'aire i les superfícies de vehicle i de les forces de pressió sobre el vehicle. Tant les forces de fricció com les forces de pressió són proporcionals a les superfícies perpendiculars de les components d'aquestes forces i al quadrat de la velocitat del vehicle. Ara bé, les forces de fricció són petites en comparació amb les forces de pressió i, per això, generalment és negligien les forces de fricció. Així doncs, la resistència aerodinàmica s'expressa com:

$$F_d = 0,5\rho C_x A_f (v + v_0)^2$$

Equació 14.4 Resistència aerodinàmica

En la **Equació 14.4**, ρ és la densitat de l'aire en Kg/m³, C_x és el coeficient de resistència aerodinàmica longitudinal (adimensional), A_f és l'àrea frontal del vehicle en m², v és la velocitat del vehicle en m/s i v_0 és la velocitat del vent de cara en m/s. Si les velocitats s'expressen en Km/h, aquesta fórmula també es pot escriure com:

$$F_d = 0,0386\rho C_x A_f (v + v_0)^2$$

Equació 14.5 Resistència aerodinàmica

Pel càlcul de l'àrea frontal del vehicle, l'altura i l'amplada es multipliquen per un factor κ per tal de representar de manera més fidedigne la superfície frontal real del vehicle. Aquest factor té un valor de 0,8.

$$A_f = \text{altura} \times \text{amplada} \times \kappa$$

Equació 14.6 Càlcul de l'àrea frontal del vehicle a partir de les especificacions d'altura i amplada d'aquest.

La resistència al rodolament és deguda al treball de deformació de les rodes i de la superfície de la carretera. El tipus i pressió del pneumàtic del vehicle, juntament amb el tipus de superfície en la que es desplaça, determinen en gran mesura la resistència al rodolament. Aquesta resistència s'expressa com:

$$F_r = mgC_r$$

Equació 14.7 Resistència al rodolament

En l'**Equació 14.7**, m és la massa del vehicle, g és l'acceleració gravitacional i C_r és el coeficient de resistència al rodolament (adimensional).

La resistència gravitatòria és la força a la qual està sotmès un vehicle que és desplaça per un tram amb pendent. Aquesta força s'expressa com:

$$F_c = mg \sin(\alpha)$$

Equació 14.8 Resistència gravitatòria

En l'**Equació 14.8**, α és l'angle d'inclinació del tram amb pendent. Generalment, la inclinació s'expressa com el percentatge del pendent p :

$$p = \frac{h}{l} \times 100$$

Equació 14.9 El pendent

En l'**Equació 14.9**, h representa la distància vertical recorreguda i l la distància horitzontal recorreguda. Així doncs, el pendent p i l'angle d'inclinació α es relacionen segons:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{p}{100}\right)$$

Equació 14.10 Angle d'inclinació

En la **Figura 14.1** es mostra una representació de totes les forces resistives descrites on s'aprecia que la resistència gravitatòria F_g és la component en l'eix longitudinal del vehicle del pes i que la resistència al rodament F_r es reparteix a totes les rodes del vehicle.

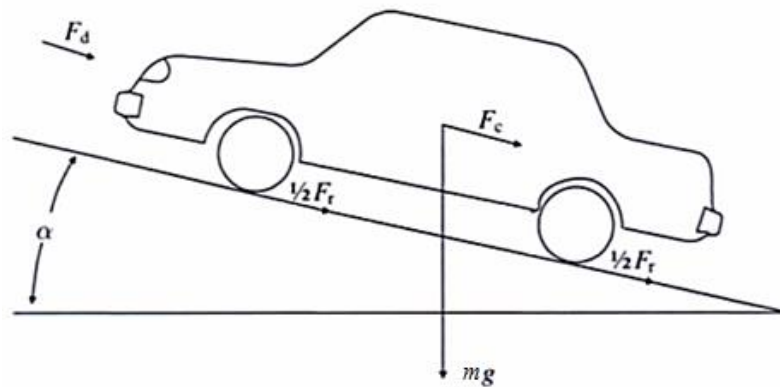


Figura 14.1 Representació de les forces resistents que actuen sobre un vehicle – Font: *Modern Electric Vehicle Technology* de C.C. Chan & K.T. Chau

Un cop determinada la força resistent total que actua sobre el vehicle, es calcula la potència necessària per aconseguir generar desplaçament del vehicle.

La potència mitja és la quantitat de treball²⁰ realitzada durant un interval de temps. La potència instantània és el valor límit de la potència mitja quan l'interval de temps s'aproxima a zero. La potència instantània s'expressa com el producte entre la força i la velocitat d'un cos (**Equació 14.11**).

²⁰ Treball – En mecànica, una força realitza treball quan altera l'estat de moviment d'un cos. El treball de la força sobre un aquest cos serà equivalent a l'energia necessària per a desplaçar-lo.

$$P = \frac{\delta W}{\delta t} = \frac{F \delta r}{\delta t} = F_l v$$

Equació 14.11 *Potència necessària per a desplaçar el vehicle*

14.2.1. Particularització

A partir de les especificacions tècniques previstes per l'artefacte i de les condicions de desplaçament més adverses (massa màxima del vehicle, velocitat màxima del vehicle amb vent de cara i un tram de carretera ascendent) es calcula la potència necessària del motor. D'aquesta manera, es garanteix un bon dimensionament del motor.

La massa màxima del vehicle s'expressa segons la suma del següents paràmetres:

$$\text{Massa màxima} = \text{massa en buit en ordre de marxa} + \text{càrrega útil}$$

Equació 14.12 *Expressió de la massa màxima*

Dades:

- ρ de l'aire a una temperatura de 20° i 101325 Pa = 1,225 kg/m³
- $\text{Massa màxima} = 450 + 150 = 600 \text{ kg}$
- $A_f = 1,4 \times 1,4 \times 0,8 = 1,57 \text{ m}^2$
- C_r per a un turisme de petites dimensions i superfície d'asfalt = 0,013
- Velocitat del vent de cara del vehicle $v_0 = 10 \text{ m/s}$.
- Pendent p del 2%.

Resultats:

$$F_l = F_d + F_r + F_c = 145,50 \text{ N} + 76,51 \text{ N} + 117,10 \text{ N} = 339,11 \text{ N}$$

$$P = F_l v = \mathbf{6593,8 \text{ W}}$$

Així doncs, per a aconseguir que el vehicle és desplaçat a una velocitat màxima de 60 km/h en les condicions adverses plantejades, la potència mínima del motor ha de ser de 6593,8 W.

14.3. Paràmetres energètics

Per tal que l'artefacte satisfaci els requeriments energètics necessaris per a cobrir les distàncies recorregudes diàriament pels usuaris, es necessari dimensionar prèviament la bateria. Els dos paràmetres principal que cal determinar són la tensió nominal i la capacitat de càrrega de la bateria.

El primer pas consisteix en determinar la tensió nominal de la bateria V_n que s'adeqüi a la potència de l'artefacte al qual subministra energia. Per una potència del motor superior a **6593,8 W**, el valor de tensió que resulta idoni per al bon funcionament de la bateria és de 72V.

El segon pas consisteix en determinar la capacitat energètica teòrica de la bateria (Wh) a partir del consum energètic de l'artefacte (Wh/km), la distància mitja recorreguda diàriament pels usuaris (26,4 km) i un factor corrector β_{dist} per tal que l'usuari pugui cobrir puntualment distàncies més llargues. El marge de seguretat aplicat és del 128 % (60 km/desplaçament diari).

$$Capacitat\ energètica_t = Consum\ energètic \times distància\ mitja\ diària \times \beta_{dist}$$

Equació 14.13 Capacitat energètica necessària de l'artefacte

A partir de la tensió nominal i la capacitat energètica teòrica, es pot determinar quina ha de ser la capacitat de càrrega nominal de la bateria Q expressada en ampers-hora (Ah). Aquest paràmetre indica la intensitat teòrica (en la pràctica existeixen unes determinades pèrdues) que pot entrega la bateria en una hora. L'expressió que relaciona la capacitat energètica teòrica, la tensió nominal i la capacitat de càrrega nominal és la següent:

$$Capacitat\ energètica_t = V_n \times Q_n$$

Equació 14.14 Capacitat energètica expressada com el producte entre la tensió nominal i la capacitat de càrrega

Per a realitzar un càlcul precís de la càrrega d'una bateria s'han de tenir en compte, a priori, uns determinats factors que afecten a l'eficiència de la bateria. Aquest factors són: la profunditat de descàrrega (DOD), la temperatura d'utilització de la bateria, la llei de Peukert i l'efecte memòria de les bateries.

La profunditat de descàrrega és el valor complementari de l'estat de càrrega d'una bateria

(SOC), és a dir, si l'estat de càrrega és del 0%, la profunditat de descàrrega és del 100% i viceversa. Les bateries no es poden descarregar completament ja que s'acurta la seva vida útil. Més específicament, les bateries no s'han de descarregar més enllà d'un 20% del SOC o, el que és el mateix, amb un DoC superior al 80%. Així doncs, es necessari aplicar un marge de seguretat del 25% a la capacitat de càrrega nominal teòrica.

Les bateries de ió-liti pateixen una reducció en el seu rendiment a baixes temperatures, de tal manera que la seva duració es pot reduir fins a un 25%. Per contrarestar aquest efecte, s'aplica un marge de seguretat del 30% a la capacitat de càrrega nominal teòrica.

La llei de Peukert expressa la variació en la capacitat de càrrega de les bateries, especialment les de plom-àcid, a diferents velocitats de descàrrega. Segons aquesta llei, a mesura que la velocitat de descàrrega augmenta, la capacitat de càrrega disponible disminueix. Tot i així, en el cas de les bateries de ió-liti, s'ha demostrat que l'efecte Peukert no afecta de manera significativa en l'eficiència de la bateria. Així mateix, l'efecte memòria de les bateries, fenomen pel qual es redueix la capacitat de càrrega de les bateries si s'apliquen càrregues incompletes, gairebé no afecta a les bateries de ió-liti.

Amb tot plegat, la capacitat de càrrega es torna a calcular aplicant un factor corrector associat al fenomen del DoC β_{DoC} , i un altre associat a l'afectació de la temperatura de funcionament de la bateria β_T . Per tant, l'expressió per obtenir la capacitat de càrrega corregida és:

$$Q_{corr} = Q_n \times \beta_{DoC} \times \beta_T$$

Equació 14.15 Capacitat de càrrega corregida

Per últim, la capacitat energètica de la bateria s'expressa com:

$$Capacitat\ energètica_{corr} = V_n \times Q_{corr}$$

Equació 14.16 Capacitat energètica corregida de la bateria.

14.3.1. Particularització

A partir de les especificacions tècniques previstes per l'artefacte, la tensió nominal de la bateria i els factors correctors indicats, es calcula la capacitat de càrrega i la capacitat energètica necessària del motor.

Resultats:

$$Capacitat\ energètica_t = 70 \frac{Wh}{km} \times 60\ km = 4200\ Wh$$

$$Q_n = Capacitat\ energètica_t \div V_n = 4200\ Wh \div 72\ V = 58,33\ Ah$$

$$Q_{corr} = Q_n \times \beta_{DoC} \times \beta_T = 58,33 \times 1,25 \times 1,3 = \mathbf{94,79\ Ah}$$

$$Capacitat\ energètica_{corr} = V_n \times Q_{corr} = 72\ V \times 94,79\ Ah = \mathbf{6825\ Wh}$$

Així doncs, per a que el vehicle pugui recórrer una distància mínima diària de 60 km en les condicions que afecten a l'eficiència de la bateria més adverses, la capacitat de càrrega mínima ha de ser de 94,79 Ah.

15. Solucions alternatives degut a variacions en tren de potència

Els elevats preus dels quadricicles elèctrics al mercat no s'ajusten a les característiques que ofereixen aquests tipus de vehicles. Per aquest motiu, en aquest apartat s'estudien diverses alternatives que suposin una reducció en els costos de l'artefacte i per tant, una disminució en el seu preu de venda.

En aquesta fase es realitza l'estudi preliminar on s'analitzen, identifiquen i investiguen les possibles solucions alternatives que compleixin els objectius definits en el plantejament inicial. Aquestes alternatives es basen en variacions en el sistema elèctric de propulsió, en l'elecció de marxa única o variable i en l'elecció del nombre i tipus de rodes del vehicle (motrius i directrius). A més, en aquest estudi es tenen en compte les possibilitats físiques de realització i els costos econòmics orientatius que suposen les alternatives plantejades.

15.1. Configuracions del sistema elèctric de propulsió

Els primers EVs eren construïts a partir de de l'estructura d'un ICV convencional. El motor del cotxe de combustió interna era reemplaçat per un motor elèctric i tota la resta de components es mantenien dins de l'estructura del EV. Aquestes primeres concepcions de EV van anar desapareixen progressivament a causa dels inconvenients inherents del propi muntatge. Avui en dia, el EV modern es dissenya i construeix amb la tecnologia i els components específicament pensats per funcionar amb un motor elèctric.

En comparació amb el ICV, la configuració del EV és significativament més flexible. Aquesta flexibilitat és deguda a diversos factors únics en els EVs. En primer lloc, l'energia en el EV es transmet a través de cables elèctric en comptes dels sistemes mecànics complexos característics en els ICV. Aquest aspecte permet al EV distribuir-se en més d'un subsistema, cadascun amb una funció específica, tal i com s'ha exposat en capítols anteriors. En segon lloc, el tren de propulsió del EV es pot configurar de varies maneres, de tal manera que cada muntatge suposa unes diferències importants en la configuració final del sistema.

En referència a les configuracions que pot tenir el tren de propulsió del EV [14], actualment existeixen sis alternatives, les quals estan representades en la **Figura 15.1**.

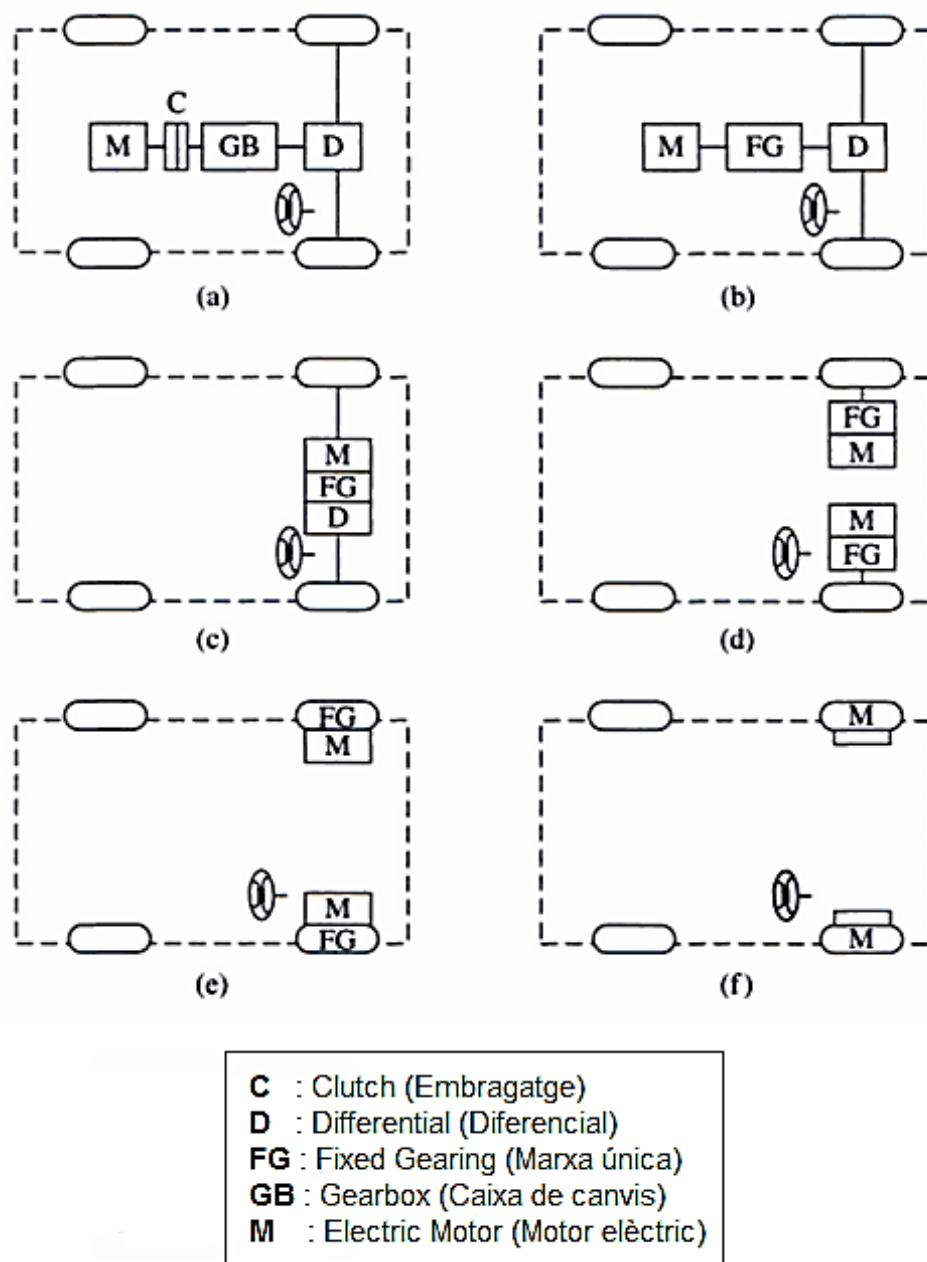


Figura 15.1 Configuracions del EV en funció de les variacions en el sistema elèctric de propulsió – Font: *Modern Electric Vehicle Technology* de C.C. Chan & K.T. Chau

La configuració (a) consisteix en l'evolució directa del ICV convencional amb tracció davantera i el motor de combustió situat a la part frontal del vehicle. Aquesta configuració consta d'un motor elèctric, l'embragatge, una caixa de canvis i un diferencial. L'embragatge és un dispositiu mecànic emprat per connectar o desconnectar el flux de potència transmès des del motor elèctric a les rodes. La caixa de canvis és un altre dispositiu mecànic que

consisteix en un conjunt de marxes amb diferents relacions de transmissió²¹. Gràcies a l'embragatge i la caixa de canvis, el conductor pot seleccionar la marxa adequada i, per tant, aplicar el parell adequat a les rodes. El diferencial permet a les rodes girar amb velocitats angulars diferents per tal d'evitar el lliscament de les rodes frontals en les corbes, on les rodes frontals tenen centres instantanis de rotació diferents.

En la configuració (b) es substitueix l'embragatge i la caixa de canvis per una marxa fixa. Amb aquesta modificació, tant el pes com les dimensions de la transmissió mecànica es redueixen notablement. Així doncs, el muntatge (b) consta de un motor elèctric, una marxa única i un diferencial.

La configuració (c) consisteix en un únic acoblament format per un motor elèctric, una marxa fixa i un diferencial, amb cadascun dels extrems dels eixos connectats a les rodes conductores. Aquesta configuració és la que més s'ha adoptat en els EVs moderns.

La funció proporcionada per el diferencial també pot ser proporcionada de manera electrònica per dos motors elèctrics operant a diferents velocitats. En la configuració (d) es mostra aquest motor dual, en el que dos motors elèctrics condueixen les rodes davanteres de manera separada mitjançant una marxa fixa.

Tal i com s'observa en la configuració (e), per tal de simplificar la transmissió mecànica entre el motor elèctric i les rodes conductores, el motor elèctric es pot situar a dins de la roda. Aquesta configuració rep el nom de 'in-wheel motor'. En aquesta muntatge s'instal·la una marxa fixa planetària²² per a ajustar (reduir) la velocitat del motor a la velocitat requerida a la roda.

En la configuració (f) és mostra l'evolució directe de l'anomenat 'in-wheel motor'. En aquest muntatge es prescindeix de totes les transmissions mecàniques i s'instal·la un motor elèctric amb un rotor extern de baixa velocitat a dins de la roda. El rotor extern es situa directament a la vora de la roda, de tal manera que el control de la velocitat del motor elèctric és equivalent al control de velocitat de la roda i, per tant, al control de la velocitat del vehicle.

15.2. Marxa única i variable

Una marxa fixa implica que la relació de transmissió entre la propulsió del vehicle (el motor) i

²¹ Relació de transmissió – Relació entre les velocitats angulars de dos engranatges de diferent diàmetre connectats entre si, en el que un dels engranatges exerceix una força sobre l'altre.

²² Marxa fixa planetària - Mecanisme format per un o més engranatges externs o *satèl·lits* que giren sobre un engranatge central o *planeta*.

les rodes conductores sigui única. En canvi, les marxes variables permeten al conductor seleccionar diferents relacions de transmissió per ajustar la velocitat i el parell adequat. Per aconseguir una configuració amb marxes variables s'utilitza mitjançant una combinació entre una caixa de canvis i un embragatge.

Els ICV no tenen més alternativa que utilitzar marxes variables ja que el motor de combustió interna per si mateix no pot oferir les característiques de parell-velocitat adequades a cada situació de la conducció (arrencada, tram empinat, altes velocitat, etc.). Al contrari, els EVs moderns utilitzen una marxa fixa, és a dir una relació de transmissió constant, el qual permet aprofitar tota la flexibilitat i exprimir tot el potencial d'aquests tipus de vehicles. Així mateix, la substitució de les marxes variables també comporta una reducció significativa en la complexitat, les dimensions, el pes i el cost del sistema de transmissió.

En la **Figura 15.2** i la **Figura 15.3** es mostren les corbes força velocitat característiques d'un ICV amb un sistema de transmissió de cinc velocitats i un EV amb marxa fixa, respectivament. Tot i que un ICV i un EV puguin tenir la mateixa potència màxima, el EV és capaç d'entregar més potència que el ICV en tot el rang de revolucions dels respectius motor. A baixes velocitats, l'EV ofereix un parell màxim constant, ideal per el procés d'acceleració, mentre que a mesura que s'augmenta la velocitat, l'EV ofereix una potencia constant fins a les revolucions màximes del motor.

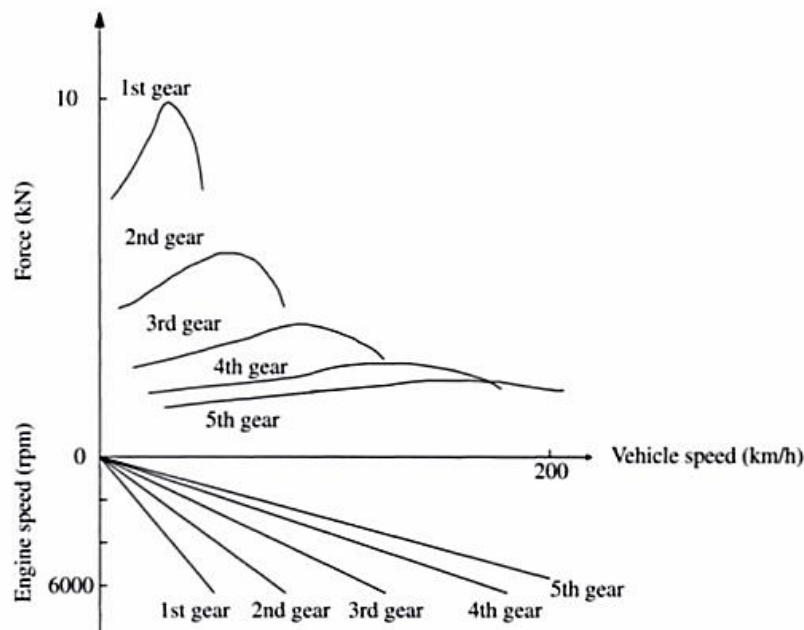


Figura 15.2 Corbes força-velocitat d'un ICV amb sistema de transmissió de 5 velocitats. -
Font: *Modern Electric Vehicle Technology* de C.C. Chan & K.T. Chau

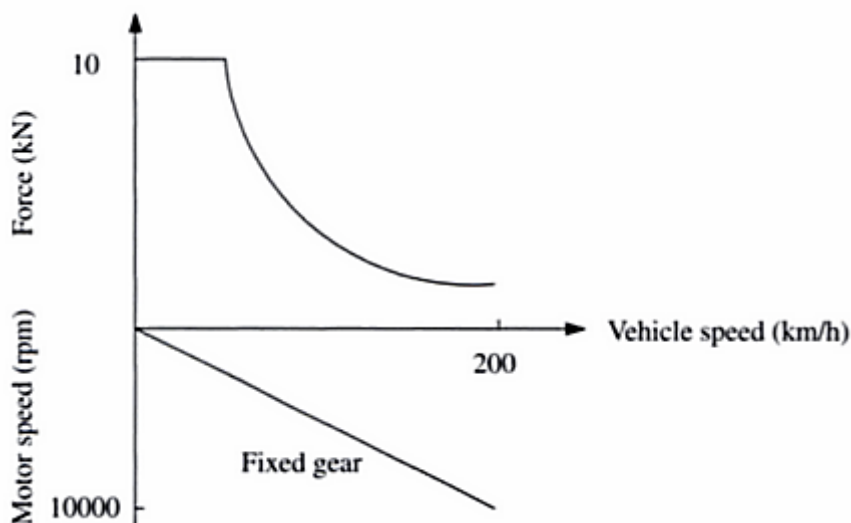


Figura 15.3 Corba força-velocitat d'un EV amb marxa fixa – Font: *Modern Electric Vehicle Technology* de C.C. Chan & K.T. Chau

15.3. Configuració 'In-wheel'

L'avantatge principal de la configuració 'in-wheel' del tren de propulsió és que la transmissió mecànica entre el motor elèctric i la roda és simplificada o, fins i tot, s'elimina per complet en funció del subtipus de motor 'in-wheel' que s'instal·li (**Figura 15.4**).

D'una banda, el motor 'in-wheel' amb rotor intern d'alta velocitat requereix un engranatge planetari fixe reductor de la velocitat per tal de transmetre una velocitat de gir adequada a la roda. Aquest engranatge planetari es col·loca entre l'eix del motor i la vora interior de la roda. Generalment, aquest tipus de motor es dissenya per operar fins a 10 000 rpm per tal d'entregar un major densitat de potència. Pel que respecta a l'engrenatge planetari, usualment té una relació de transmissió aproximada de 10:1 a fi de garantir que el rang de velocitats de gir de les rodes del vehicle estarà compres entre les 0 i 1000 rpm.

D'altra banda, en el motor 'in-wheel' amb rotor extern de baixa velocitat es pot prescindir de la transmissió mecànica. Això s'aconsegueix gràcies que el rotor extern per si mateix és el contorn intern de la roda i per tant, la velocitat de gir del motor és la mateixa que la de la roda i no es requereix l'ús d'un engranatge per ajustar les velocitats de gir.

El tipus de motor elèctric que s'utilitza habitualment en aquests tipus de configuracions és el motor elèctric *brushless* d'imants permanent degut a la gran densitat de potència que es capaç d'entregar.

Cadascun dels subtipus de motor 'in-wheel' presenta les seves avantatges i inconvenients. El motor amb rotor intern d'alta velocitat té unes dimensions i un pes lleugerament inferiors, tot i així, requereix la instal·lació d'un engranatge planetari. D'altra banda, el motor amb rotor extern de baixa velocitat és el disseny més simplificat i no requereix de la instal·lació d'un mecanisme d'ajust de les velocitats de gir. Com a contrapartida, aquest darrer motor té unes dimensions i un pes sensiblement més elevats degut a la naturalesa del seu disseny.

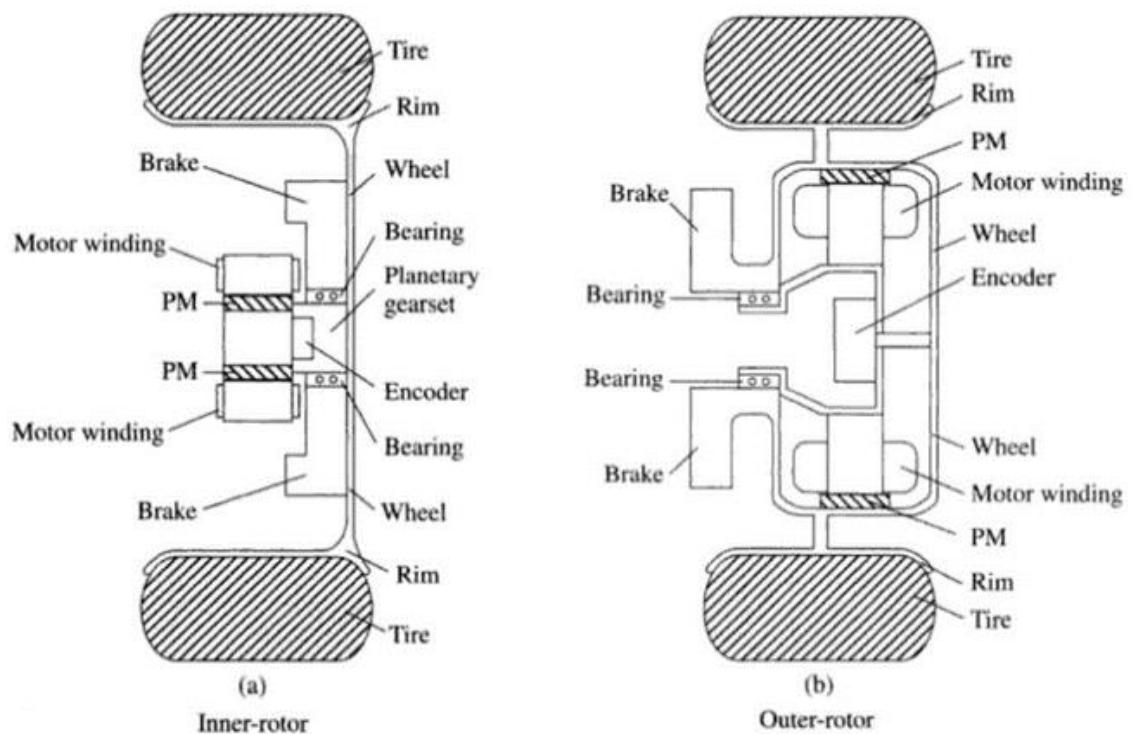


Figura 15.4 Configuracions 'in-wheel' amb rotor intern i amb rotor extern – Font: *Modern Electric Vehicle Technology* de Hiroshi Shimizu & C.C. Chan & K.T. Chau

15.4. Vehicles de tres rodes

Al llarg de la història de l'automòbil s'han patentat i venut molts i diversos vehicles de tres rodes. Durant els anys posterior a la Segona Guerra Mundial es va recórrer habitualment a aquest tipus de configuració ja que les petites dimensions i les baixes velocitats dels automòbils en aquella època van permetre als fabricants prescindir d'una quarta roda. A mesura que la tecnologia del ICV va anar avançant, i que progressivament les potències i velocitats màximes dels automòbils eren més elevades, la configuració dels cotxes convencional (4 rodes) es va anar imposant, atès que proporcionava més estabilitat, especialment en els tram curvilinis, i més robustesa.

Les condicions de desplaçament en zones urbanes no requereixen que els automòbils destinats a aquest ús disposin de motors de grans potències i siguin capaços d'assolir grans velocitats. Aquesta idea dóna peu a un replantejament a l'arquitectura de vehicles de tres rodes. Els avantatges principals d'aquesta configuració són **l'eliminació d'alguns elements mecànics**, amb el conseqüent **estalvi en el pes i el cost del vehicle**.

Els vehicles de tres rodes es divideixen en quatre tipus: els que tenen dos rodes davanteres directrius i una roda posterior motriu, els de dos rodes davanteres motrius i directrius, els de una roda davantera directriu i dos posteriors motrius i els d'una única roda davantera motriu i directiu a la vegada.

El tipus de vehicle de tres rodes basat en dos rodes davanteres directrius i una posterior motriu presenta certes avantatges respecte als altres tipus. En primer lloc, el fet que la única roda posterior sigui la motriu comporta una **simplificació significativa en el muntatge del tren de potència**. En segon lloc, amb l'arquitectura de dos rodes davanteres i una posterior **s'augmenta l'aerodinàmica del vehicle**. L'automòbil adquireix una certa forma de gota que fa que es redueixi el coeficient de resistència aerodinàmica del vehicle (C_x). Cal destacar que, per al disseny i creació d'un EV, l'augment de l'aerodinàmica del vehicle resulta de gran importància pel fet que contribueix indirectament a un increment en l'autonomia del vehicle.

15.5. Alternativa seleccionada

Després d'analitzar les possibles solucions alternatives, cal seleccionar aquella que s'ajusti de manera més adequada als objectius definits en el plantejament inicial. En altres paraules, cal seleccionar aquella solució econòmica, en que es garanteixin unes condicions segures i còmodes de desplaçament, i que millor s'adapti als desplaçaments en zones urbanes. Així mateix, en l'elecció de l'alternativa, cal tenir en compte el grau de dificultat de realització de la solució i els costos econòmics orientatius que suposa.

Respecte a la configuració del sistema elèctric de propulsió, la que es considera idònia per a l'artefacte és la configuració 'in-wheel motor'. No només s'elimina la complexitat inherent del sistema de la transmissió mecànica, formada per la caixa de canvis, el diferencial, els eixos, etc., sinó que també es genera un substancial estalvi en el pes i els costos de fabricació del tren de potència. De manera més específica, el tipus de motor 'in-wheel' seleccionat és el de rotor extern de baixa velocitat ja que, gràcies al seu disseny, es pot prescindir completament de la transmissió mecànica. Addicionalment, amb aquesta configuració es contribueix a una disminució en l'impacte mediambiental de l'artefacte degut a una reducció en l'ús de materials per a la construcció del tren de potència.

En l'apartat 14.1, on es defineixen les especificacions tècniques previstes, la selecció del tipus de motor no es determina ja que depèn en gran mesura de la configuració del tren de potència del vehicle escollida. Vist que la configuració més apropiada és la configuració 'in-wheel motor', el tipus de motor del vehicle ha de ser un motor d'imants permanent. El disseny compacte i la gran densitat de potència d'aquest tipus de motor els fan idonis per a dissenyar-se com a motors 'in-wheel'.

En relació amb el nombre de marxes, l'artefacte disposarà d'una marxa fixa, o sigui, una única relació de desmultiplicació. En efecte, una relació de transmissió constant permet aprofitar tota la flexibilitat i exprimir tot el potencial d'un EV.

Pel que fa al nombre de rodes i el tipus d'aquestes (motrius i/o directrius), el més convenient per l'artefacte és una arquitectura amb tres rodes per tal de contribuir a la minimització d'elements mecànics, el pes i el cost del vehicle. D'entre tots els tipus d'arquitectures de tres rodes esmentat en l'apartat anterior, l'opció que està basada en dos rodes davanteres directrius i una posterior motriu és en la que més es simplifica el muntatge del tren de potència pel fet de incorporar només una roda motriu. A més, degut a la disposició de dues rodes davanteres i una de posterior, es garanteix un bon nivell d'estabilitat del vehicle i es redueix el seu coeficient de resistència aerodinàmic.

16. Solució final i operativa

Per a la fabricació de l'artefacte, primer es seleccionen de manera aïllada cadascun dels components de l'artefacte i, posteriorment, s'acoblen en una planta de fabricació.

Per al disseny de la solució, les parts de l'artefacte que es seleccionen són el xassís²³, el motor elèctric, la bateria, el sistema de gestió de la bateria, el carregador interior del vehicle, el controlador del motor, el controlador DC/DC i el cablejat.

Cal subratllar que la selecció de totes aquestes parts es realitza amb la premissa que compleixin les especificacions tècniques previstes (capítol 14) i que per tant, l'artefacte s'ajusti a les necessitat de l'usuari.

A més d'ajustar-se a les especificacions detallades, l'artefacte s'ha de basar en l'alternativa seleccionada (capítol 15). En poques paraules, l'artefacte ha de consistir en un quadricicle de tres rodes, de les quals les dues davanteres són directrius i la posterior motriu, amb motor 'in-wheel' d'única relació desmultiplicació.

L'únic component que requereix un procés de selecció més difícil és la unitat de control del vehicle (VCU). El VCU requereix d'una programació particular per a cada vehicle elèctric. Encara que el seu disseny s'escapa de l'abast d'aquest projecte, es determinaran el cost aproximat d'aquest component a partir de l'assessorament d'empreses especialitzades en controladors electrònics per a EVs.

16.1.Xassís

Pel que respecta al xassís i la carrosseria²⁴ de l'artefacte es decideix seleccionar el del quadricicle anomenat Trigger Arrow fabricat per l'empresa Trigger Cars situada als països baixos. El motor convencional d'aquest quadricicle és un motor de combustió interna de 4 temps per a scooter fabricat per la companya italiana Piaggio. La producció d'aquests quadricicles es va iniciar l'any 2006 i, actualment, molts d'aquests vehicles circulen per ciutats com Barcelona, San Francisco i Miami.

S'ha seleccionat aquest xassís principalment perquè les dimensions s'ajusten a les

²³ Xassís - Estructura que sosté, aporta rigidesa i forma a un vehicle o objecte portable.

²⁴ Carrosseria – Part exterior metàl·lica d'un vehicle que recobreix el motor i altres elements i en l'interior de la qual s'hi instal·len els passatgers i la càrrega.

dimensions objectiu definides (**Taula 16.1**) i perquè presenta l'arquitectura seleccionada de dues rodes davanteres directrius i una posterior motriu. Gràcies a aquesta única roda posterior, el procés d'instal·lació del motor és més simplificat i econòmic. A més, amb una única roda posterior és viable a nivell mecànic l'acoblament d'un motor 'in-wheel'.

DIMENSIONS (mm)	<i>Objectiu</i>	<i>Definitives</i>
<i>Longitud</i>	<3000	2310
<i>Amplada</i>	<1400	1340
<i>Alçada</i>	<1400	1295

Taula 16.1 *Compliment de les dimensions previstes*

Addicionalment, el fet que la direcció davantera es controli a partir d'un manillar, simplifica en gran mesura el mecanisme de la direcció i, per tant, contribueix també a una reducció significativa en els costos de l'artefacte.

En la **Figura 16.1** es mostra la vista frontal, la vista posterior i el perfil del vehicle amb el motor convencional de combustió interna.



Figura 16.1 *Vista frontal, posterior i lateral del Trigger Arrow – Font: Catàleg electrònic del Trigger Arrow per l'empresa Trigger Cars.*

Tant la carrosseria com el xassís del Trigger Arrow estan fets d'acer. El xassís està fabricat mitjançant un sistema de fabricació amb control numèric. La suspensió posterior del vehicle, fabricada per l'empresa tailandesa YSS, és de doble forquilla. Els frens de disc hidràulics

incorporats en les rodes frontals, fabricats per l'empresa Wilwood, s'accionen de manera homologa als frens d'una motocicleta. Pel que respecta a les llums del vehicle, les dos llums frontals són al·lògenes de 55W, els dos intermitents frontals són llums d'11W cadascun i totes les llums de la part posterior són LED.

16.2. Motor elèctric

Per a la selecció del motor, el controlador, el carregador i el convertidor DC/DC, s'ha dut a terme una recerca exhaustiva de possibles proveïdors que proporcionessin aquests components, segons les especificacions tècniques definides. Definitivament, el proveïdor seleccionat per a aquests components és l'empresa *Kelly Controller Lead To Clean World*. Aquesta empresa ven i produeix una ampla gamma de components i accessoris per al món del vehicle elèctric. Els seus productes són econòmics i d'alta qualitat, per aquest motiu, es tracta d'una de les companyies líder en el mercat dels controladors electrònics per als vehicles elèctrics.

D'acord amb els paràmetres de força i potència definits en l'apartat 14.2, la potència del motor ha de ser superior als 6593,8 W. El motor seleccionat és un motor a roda d'imants permanents amb rotor extern de 72V i 7000 W de potència i fre de disc incorporat. Com a característiques principals, aquest motor és capaç de proporcionar una velocitat màxima de rotació sense càrrega de 1350 r.p.m., ofereix un parell màxim de 200 N.m., té una eficiència màxima del 88%, té un grau de protecció²⁵ IP54 i una massa de 25 kg. Les mides del motor s'especifiquen en la **Figura 16.2**.

²⁵ Grau de protecció IP – D'acord amb la norma internacional *IEC 60529 Degrees of Protection*, el grau de protecció IP indica el grau de protecció d'un equipament elèctric o electrònic vers el contacte amb partícules sòlides (primer dígit) i substàncies líquides o humitat (segon dígit). Quant més elevat són els dígit, major és el grau de protecció.

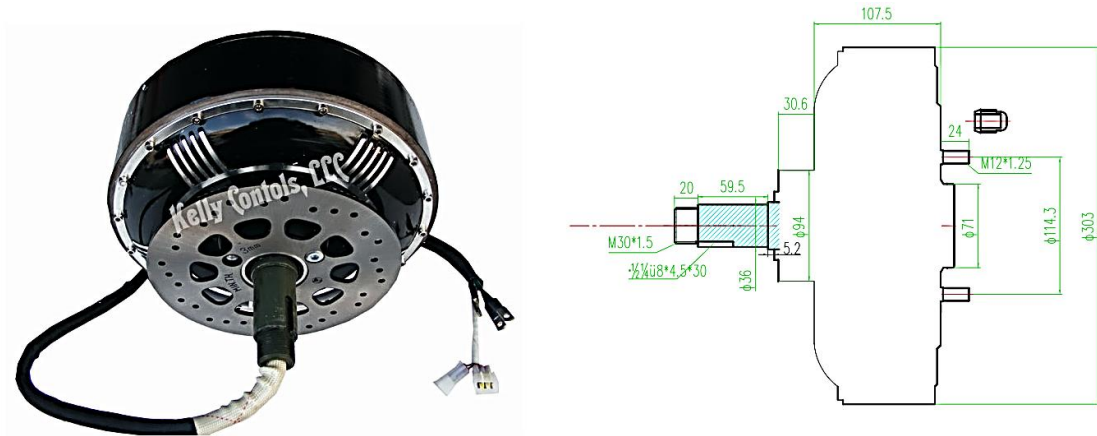


Figura 16.2 Motor a roda amb rotor extern de 72V i 7000 W - Font: Fitxa tècnica del Car Hub Motor 72V 7KW per Kelly controller, LLC

16.3. Controlador del motor

El controlador seleccionat per a l'artefacte és el model amb referència KBL72401E del catàleg de productes de la empresa Kelly Controller, LLC (**Figura 16.3**). El controlador modifica la senyal d'entrada provinent de la bateria a partir del control de MOSFETs d'alta potència que es commuten mitjançant la tècnica del PWM. A més, el controlador del motor també s'encarrega de la conversió del corrent en alterna a corrent continua—corrent necessari per recarregar la bateria— quan el motor passa a actuar com un generador, és a dir, durant el procés de frenada regenerativa (capítol 9).

El controlador disposa d'un rang de voltatges de funcionament d'entre 18 i 90 V, una freqüència de funcionament de 16,6kHz, un rang de temperatures de funcionament comprès entre els -30°C i els 90 °C i uns valors d'intensitat màxima de 450A (per un període de 10 segons), de 400A (per un període de 30 segons) i de 160A (per a un funcionament continuat). Les dimensions del dispositiu són de 304x146x61mm.



Figura 16.3 Controlador del motor - Font: Fitxa tècnica del controlador amb referència KBL72401E per Kelly controller, LLC

16.4. Bateria

Per a la selecció del sistema d'emmagatzematge d'energia, s'ha dut a terme una recerca exhaustiva de possibles proveïdors de bateries que s'ajustin als paràmetres definits. Tant la bateria, com el BMS escollits els proporciona el fabricant *AA Portable Power Corporation*. Aquesta companyia, que es va formar com una empresa conjunta de diversos fabricants de bateries i carregadors, compte amb més de 14 anys d'experiència en la indústria de les bateries i ofereix productes de qualitat a un preu molt competitiu.

Tal i com s'ha definit en l'apartat 14.3 referent als paràmetres energètics, la tensió nominal de la bateria ha de ser de 72 V i la capacitat de càrrega mínima de 94,79Ah. Partint d'aquestes premisses, la bateria adquirida és de liti ferro-fosfat amb una tensió nominal d'entre 72 i 76,8V i està formada per la connexió en sèrie de 6 mòduls de 12,8V i 100Ah, que a la seva vegada estan formats per 4 cel·les prismàtiques individuals de 3,2V i 100Ah connectades en sèrie. Dit d'una altra manera, la bateria està formada per un total de 24 cel·les prismàtiques individuals de 3,2V i 100Ah connectades en sèrie. El rang de tensions admissible de la bateria està comprès entre els 91,2V i els 60V, i presenta una capacitat energètica de 7680Wh. Com la connexió entre les cel·les és en sèrie, els paràmetres d'intensitat màxima, de càrrega i de descàrrega de la bateria són els mateixos que els d'una cel·la individual (**Taula 16.2**). El pes total de la bateria és de 78 kg.

Els paràmetres d'intensitat d'una bateria s'expressen habitualment en funció d'una constant de càrrega o descàrrega C. El valor de la constant C és el mateix que el de la capacitat de càrrega (expressada en Ah) i les seves unitats són 1/h. Així doncs, com a exemple, una velocitat de càrrega o descàrrega d'1C en el cas de la bateria seleccionada de 100Ah

significa que la intensitat de càrrega o descàrrega és de 100A.

Per incrementar la seguretat de la bateria, cada cel·la disposa d'un recobriment acrílic per a protegir la bateria vers descàrregues elèctriques accidentals, sobreescalfaments, la humitat i la pols.

Les especificacions tècniques referents a una cel·la individual són:

<i>Paràmetres cel·la individual</i>	<i>Valor</i>
<i>Tipus de bateria</i>	Bateria de liti-ferrofosfat (LiFePO ₄)
<i>Tipus d'encapsulat</i>	Prismàtic
<i>Capacitat de càrrega nominal</i>	100 Ah
<i>Capacitat energètica</i>	320 Wh
<i>Resistència interna</i>	≤ 1,8 mΩ
<i>Nombre de cicles</i>	≥3000 (80% DoD)
<i>Energia específica</i>	Entre 90 i 110 Wh/kg
<i>Potència específica</i>	800 W/kg
<i>Massa</i>	3,2 kg ± 100 g
<i>Rati d'auto-descàrrega mensual</i>	≤ 3 %
Voltatges (V)	
<i>Nominal</i>	D'entre 3 i 3,2
<i>Càrrega</i>	3,6
<i>Descàrrega</i>	2,8
Intensitats	
<i>Màxim corrent de càrrega</i>	3C (300 A)
<i>Màxim corrent de descàrrega continua</i>	3C (300 A)

Màxim corrent de descàrrega d'impuls (<10s)	10C (1000 A)
Dimensions (mm)	
Longitud	140
Amplada	62
Altura	236 (243 amb la cobertura)
Temperatures (°C)	
Operativa de càrrega	De 0 a 65
Operativa de descàrrega	De -25 a -65
Màxima admissible del encapsulat	135

Taula 16.2 Especificacions tècniques d'una cel·la individual de la bateria

En referència als valors de tensió de la bateria mostrats a la **Taula 16.2**, cal tenir en compte que la tensió de càrrega (3,6V) sempre serà més gran que la tensió de descàrrega (2,8V) degut a la resistència interna de la bateria (1,8 mΩ).



Figura 16.4 Cel·la individual prismàtica de liti-ferrofosfat de 3,2V i 100Ah (esquerra) i mòdul de quatre cel·les de 12,8V i 100Ah (dreta) - Font: Ficha tècnica de LFP-G100 per AA Portable Power Corp.

En la **Figura 16.4** es mostra l'agrupació de les cel·les individuals en els mòduls de 12,8V i 100Ah. Cada mòdul de 12,8V té una mida de 280x140x243 mm i un pes aproximat de 12,8 kg.

16.5. Sistema de gestió de la bateria (BMS)

Per a monitoritzar els paràmetres de control de la bateria, tals com el voltatge i la temperatura de treball, resulta imprescindible instal·lar mòduls adjunts a les cel·les de bateria que funcionin com a sensors i actuadors i que enviïn la informació a una ECU per que interpreti el senyals elèctrics enviats.

Cada mòdul està format per 4 plaques connectades en cadena, que es connecten a cada mòdul de la bateria de 12,8V i 100Ah (4 cel·les individuals) (**Figura 16.5**).

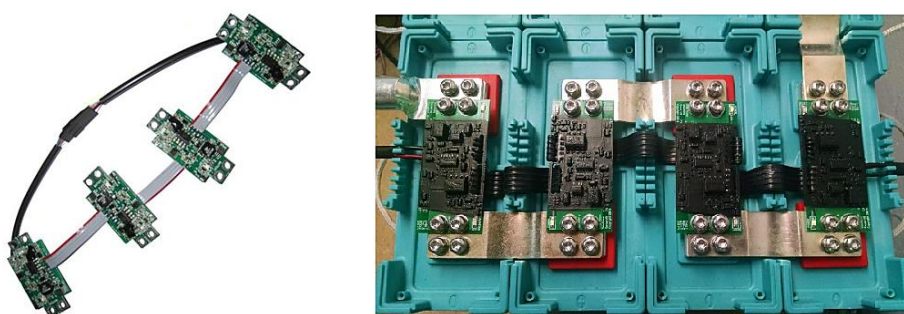


Figura 16.5 Mòdul sensor/actuador del BMS - Font: Fichas tècniques de BMS-EL-V7 per AA Portable Power Corp.

Les funcions principals que dur a terme l'ECU del BMS (**Figura 16.6**) són:

- El control de les tensions, les intensitats i les temperatures màximes i mínimes.
- Establir un règim de funcionament equilibrat i repartit per a cada cel·la.
- Proporcionar totes les dades necessàries per a ser visualitzades en un dispositiu de sortida (**Figura 16.6**).
- Proporcionar un senyal elèctric per a l'obertura del relé²⁶ de descàrrega o el relé de càrrega per a protegir la bateria en cas de sobrecàrrega, sobredescàrrega o sobreescalfament.

La pantalla LCD mostra els valors de voltatge, intensitat i temperatura de la bateria i el SOC.

²⁶ Relé – Dispositiu electromagnètic que funciona com un interruptor controlat per un circuit elèctric.



Figura 16.6 ECU (esquerra) i pantalla LCD (dreta) del BMS - Font: Fitxa tècnica del BMS amb referència BMS-EP128 per AA Portable Power Corp

Les especificacions tècniques del BMS són:

<i>Paràmetres BMS</i>	<i>Valor</i>
<i>Rang de tensions de funcionament ECU</i>	8-20V
<i>Intensitat nominal ECU</i>	120mA
<i>Dimensions ECU</i>	146x68x50mm
<i>Resolució²⁷ de voltatge</i>	0,1V
<i>Resolució d'intensitat</i>	1A
<i>Rang de temperatures de funcionament</i>	De -146°C a 92°C
<i>Precisió²⁸ en les mesures</i>	<1%
<i>Rang de tensions de mesura del mòdul</i>	D' 1,2V a 4,5V
<i>Rang de temperatures de mesura del mòdul</i>	De -20°C a 70°C

Taula 16.3 Especificacions tècniques del BMS

²⁷ Resolució d'un sensor – Menor canvi en la magnitud d'entrada que s'aprecia en la magnitud de sortida.

²⁸ Precisió – Màxim error esperat en la mesura.

16.6. Carregador interior del vehicle

El carregador seleccionat per a l'artefacte és el model amb referència F7210-72V/10A del catàleg de productes de la companyia Kelly Controller, LLC (**Figura 16.7**). El carregador està dissenyat per a treballar amb una voltatge d'entrada AC de 220V i una freqüència de 50/60Hz. Té unes dimensions de 230x135x70mm i entrega un voltatge constant de sortida de 72V i una intensitat de sortida de 10A. Aquest carregador presenta una eficiència elevada (d'entre el 95 i 98%) i un factor de potència²⁹ de 0,96.



Figura 16.7 Carregador de 72V i 10A – Font: Fitxa tècnica del carregador amb referència F7210-72V/10A Charger per Kelly controller, LLC

16.7. Convertidor DC/DC

El convertidor DC/DC seleccionat és el model amb referència KDCC7212-400-5W (**Figura 16.8**). El convertidor transforma els 72V de tensió nominal de la bateria als 12V requerits per a l'alimentació d'altres components de l'artefacte, tals com les llums, la botzina, la pantalla LCD, etc. Aquest convertidor té d'un rang de voltatges de funcionament comprès entre els 67V i els 84V, una intensitat de sortida de 35A, una potència màxima de 400W i una temperatura màxima de funcionament de 90°C. Les dimensions d'aquest dispositiu són de

²⁹ Factor de potència – Relació entre la potència activa i la potència aparent. El valor ideal del factor de potència és 1, això significa que tota l'energia consumida per un aparell ha estat transformada en treball. A menor factor de potència, major serà el consum d'energia necessària per a produir un treball útil.

196x140x66mm.



Figura 16.8 Convertidor DC/DC – Font: Fitxa tècnica del convertidor DC/DC amb referència KDCC7212-400-5W per Kelly controller, LLC

17. Anàlisi dels costos dels components

En un primer moment, un dels objectius del projecte era el d'oferir un artefacte amb un preu de venda baix en comparació amb d'altres vehicles elèctrics del mateix segment (quadricicles elèctrics). Desafortunadament, tal i com s'ha comentat en el capítol referent a les variables del sistema i les seves restriccions (capítol 12), el preu final de l'artefacte no és pot determinar de manera objectiva. Qualsevol determinació del preu final hauria de ser en base a estimacions a causa del desconeixement dels costos associats al projecte que no siguin els costos dels propis components. Malgrat això, la determinació del cost de l'artefacte com la suma dels costos individuals dels components que el conformen proporciona una idea orientativa del preu de venda que podria tenir l'artefacte, i permet determinar la porció del cost total que representa el cost individual de cada component (**Figura 17.1**).

Convé destacar que els preus de venda dels components utilitzats són els que els proveïdors proporcionen de manera pública a les pàgines web per la compra d'una única unitat. L'adquisició d'un lot de varies unitats suposa una disminució significativa en el preu dels components. Malauradament, el preu d'un lot no ha estat proporcionat per cap dels proveïdors.

Components artefacte	Unitats	Cost (€)
<i>Xassís</i>	1	1100*
<i>Motor elèctric</i>	1	707,91
<i>Mòdul bateria 12,8V 100Ah</i>	6	3186,96
<i>ECU del BMS + Pantalla LCD indicadora</i>	1	293,38**
<i>Mòdul sensor/actuador pel BMS</i>	6	548,65
<i>Carregador interior del vehicle</i>	1	176,31
<i>Controlador del motor</i>	1	388,95
<i>Unitat de control del vehicle</i>	1	100***
<i>Convertidor DC/DC</i>	1	114,29

<i>Cablejat</i>	1	150****
TOTAL		6766,45

Taula 17.1 Desglossament dels costos de l'artefacte segons els seus components

*Cost aproximat proporcionat pel fabricant Trigger Cars.

**El cost de l'ECU del BMS + Pantalla LCD indicadora també inclou el cost d'un relé, un shunt³⁰, un interruptor momentani i de cablejat per a la connexió entre tots els components del BMS.

***Cost aproximat del VCU a partir de l'assessorament d'empres líders en el sector dels controladors electrònics per EV.

****Cost estimat del cablejat del vehicle.

Desglossament dels costos dels components

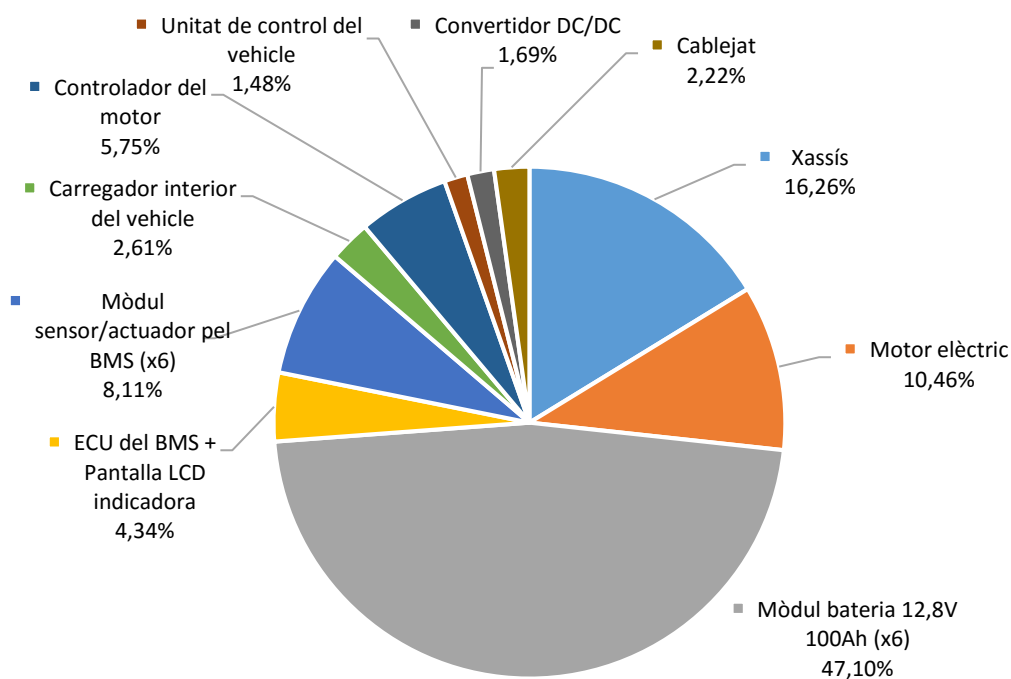


Figura 17.1 Desglossament dels costos de l'artefacte segons els seus components

³⁰ Shunt – En electrònica, un shunt és una càrrega resistiva a través de la qual es deriva un corrent elèctric per a la protecció del circuit.

El cost de l'artefacte expressat com la suma dels costos individuals de cada component és de 6766,45€. Si en les primeres ventes s'ajusta el marge de benefici i es considera l'aplicació de les subvencions i els ajuts econòmics per a l'usuari final per l'obtenció d'un vehicle elèctric (capítol 20), el preu de venda final pot resultar molt atractiu.

En referència al repartiment percentual dels costos individuals de cada component, els components que representen un percentatge significativament més elevat són aquells relacionats amb el sistema d'emmagatzematge d'energia del EV. Només els 6 mòduls sensor/actuador del BMS i els 6 mòduls de 12,8V i 100Ah de la bateria representen més del 55% del cost total de l'artefacte. El cost tan elevat dels mòduls de la bateria es deu principalment a la poca maduresa de les tecnologies per a l'acumulació energètica. No obstant això, és molt probable que a curt-mig termini es dugui a terme un ràpid avenç en aquest camp i que el desenvolupament de les bateries permeti una reducció notable en els costos dels EV.

18. Planificació i programació

L'abast d'aquest treball comprèn exclusivament la realització de la fase de disseny del projecte, que és aquella en la que es defineixen els objectius, condicionants i criteris d'avaluació, així com la particularització de les solucions possibles. No obstant això, és necessari establir una planificació i programació per la realització de tot el projecte.

Les diferents fases del projecte dependran en gran mesura de la solució que s'assoleixi. No obstant això, el desenvolupament del projecte es realitza sempre de manera organitzada i coherent.

En la primera fase es realitza el plantejament del problema i es defineixen els objectius del projecte. A més a més, en aquesta fase es realitza un primer estudi de viabilitat econòmica juntament amb un estudi de realització que comprèn un estudi de mercat. En aquesta fase és on es determinen les variables i restriccions del projecte, així com tots els usuaris del projectes i les seves necessitats. Aquesta fase té una durada aproximada d'un mes i, un cop acabada, es pren la decisió de si es dur a terme el projecte.

Un cop acabada la primera fase, en la segona es particularitza més el projecte i s'exploren més a fons les possibles solucions al problema descrit. En aquesta fase es pren la decisió final per a decidir quina és l'opció més viable per desenvolupar el projecte. En aquesta fase, també es realitza un estudi de viabilitat econòmica i ambiental i es revisa la normativa que aplica al projecte. Aquesta segona fase s'executa durant vuit setmanes en total.

En la tercera fase del projecte es duen a terme les accions necessàries per a materialitzar la solució en una realitat física. En aquesta fase s'inicia la formació del equip gestor i el servei tècnic, s'estableix el contacte amb els proveïdors de cada component de l'artefacte final i es contacta amb els transportistes. Posteriorment, s'estableix el personal, instal·lacions i maquinària necessària per a la manufactura dels components facilitats per als proveïdors. Aquesta fase tindrà una durada de set setmanes aproximadament.

En la quarta fase es continua amb la formació i organització de l'equip gestor i s'implementa el programari adient per a la organització i gestió del projecte. Paral·lelament, s'inicia la fabricació de les primeres unitats. Aquesta fase té una duració d'unes deu setmanes en total.

En la cinquena fase s'inicia un període de prova per a verificar el bon funcionament de l'artefacte i el compliment de les especificacions tècniques definides en fases anteriors. La duració total del període de prova és de dotze setmanes. A continuació d'aquest període, es dur a terme un estudi d'avaluació en termes tècnics i econòmic del període de prova. Si es

pertinent, es realitzaran els retocs necessaris en l'artefacte. Aquest període d'avaluació té una durada de sis setmanes.

Finalment, durant les últimes tres setmanes es comercialitzaran les primeres unitats produïdes. Durant aquesta fase, es verificaran els estudis de mercat realitzats en fases anteriors i es recopilarà informació relativa a la satisfacció de l'usuari final a fi d'implementar futures millores en les següents versions de l'artefacte.

Des del plantejament de la problemàtica fins a la comercialització de les primeres unitats de l'artefacte transcorren cinquanta setmanes, és a dir, un any. Durant aquest temps, es possible que sorgeixin diversos imprevistos i, si fos necessari, es procediria a la modificació de la planificació i programació del projecte.

A continuació, s'adjunta un diagrama de Gantt de la planificació temporal on s'especifica la duració, en setmanes, de totes les diferents etapes del projecte.

Planificació temporal

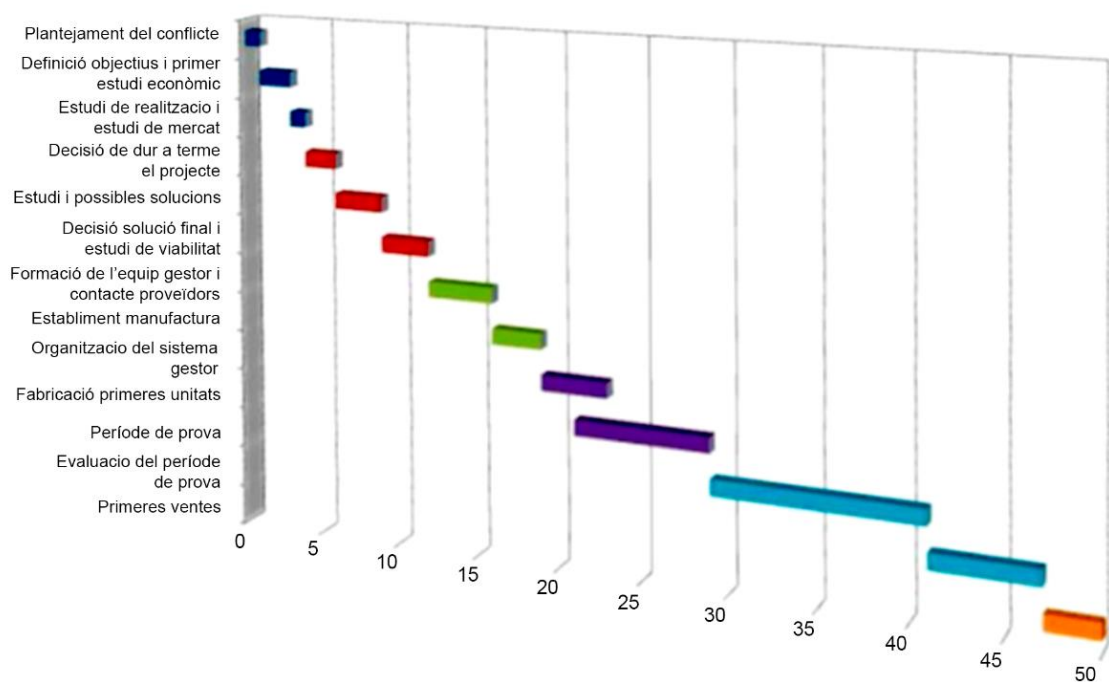


Figura 18.1 Planificació temporal del projecte

19. Normativa aplicable

L'objectiu comú de qualsevol legislació industrial està en la seguretat de les persones, bens i medi ambient. La legislació pot condicionar de manera decisiva molts aspectes que afecten al transcurs del projecte. Per aquest motiu, en aquest apartat s'analitza la normativa que aplica a aquest projecte.

El Reglament nº 100 de la Comissió Econòmica de les Nacions Unides per a Europa (CEPE/ONU) [10] fa referència a les disposicions uniformes relatives a l'homologació de vehicles que disposen d'un grup motopropulsor elèctric. Tenen especial importància els apartats 5 i 6 del reglament, els quals fan referència als requisits d'un vehicle pel que respecta a la seva seguretat elèctrica i els requisits d'un REESS (Rechargeable Energy Storage Systems) pel que es refereix a la seva seguretat.

Segons l'apartat 5.1.1:

“ [...] La protecció contra el contacte directe amb les parts actives hauran de complir els apartats 5.1.1.1 y 5.1.1.2. Aquestes proteccions (aïllant sòlit, barrera, envoltant, etc.) no es podran obrir, desmuntar-se o retirar sense fer ús d'eines.”

Apartat 5.1.1.1.:

“A efectes de la protecció de les parts actives dins de l'habitacle per ocupants o del compartiment portaequipatge, es proporcionarà el grau de protecció IPXXD.”

Apartat 5.1.1.2.:

“A efectes de la protecció de les parts actives en diferents zones de l'habitacle per a ocupants o del compartiment portaequipatges, es complirà el grau de protecció IPXXB.”

Tal i com s'indica en els apartats 5.1.1.1. i 5.1.1.2., s'ha de proporcionar un grau de protecció als ocupants del vehicle vers el contacte involuntari o accidental amb elements elèctrics, com ara cablejat, interruptors, etc. Específicament per a aquelles parts actives que es trobin a l'interior de l'habitacle, el grau de protecció ha de ser IPXXD. Aquest codi IP implica la protecció referent a contactes accidentals amb els elements de més d'un mil·límetre de diàmetre (els dits i fins i tot elements més petits). Per a la resta de zones s'ha de proporcionar el grau de protecció IPXXB. Aquest codi IP implica la protecció referent a contactes accidentals amb elements de més de 12 mil·límetres de diàmetre (els dits).

Segons l'apartat 5.1.2.:

“Els vehicles equipats amb qualsevol tipus de RESS homologat de conformitat amb la part II del present Reglament hauran d'estar també protegits contra el contacte indirecte.”

En l'apartat 5.1.2. es matisa que no només s'haurà de proporcionar protecció davant del contacte directe, sinó que també per al contacte indirecte, és a dir, per al contacte amb aquells elements no necessàriament elèctrics que es puguin trobar sotmesos accidentalment a una determinada tensió.

Segons l'apartat 5.3. referent a la seguretat funcional:

“Es donarà al conductor al menys una indicació momentània quan el vehicle estigui en «mode de conducció possible actiu [...]».

En aquest mateix apartat:

“Al sortir del vehicle, una senyal (òptica o acústica) avisarà al conductor en cas que el vehicle segueixi estant en el mode de conducció possible actiu.”

Tal i com es menciona en l'apartat 5.3, és important que en el moment de l'arrancada i aturada del motor elèctric el conductor estigui assabentat de si el motor es troba activat o desactivat mitjançant la reproducció d'una senyal de tipus òptic o acústic.

Cal tenir present també aquest fragment de l'apartat 5.3.:

“En cas que l'usuari pugui carregar des de l'exterior el REESS del vehicle, haurà de ser impossible que el vehicle es desplaci per el seu propi sistema de propulsió mentre el connector de la font d'energia elèctrica exterior estigui connectat físicament a la presa de corrent del vehicle [...]”

Segons aquest altre fragment de l'apartat 5.3., s'haurà d'instal·lar un sistema de control que garanteixi la desactivació del motor elèctric en el procés de càrrega de la bateria.

En l'apartat 6 del reglament es fa menció de tots els requisits que haurà de complir el REESS en matèria de seguretat. Adjunt en el annexes del mateix reglament es troben tots els documents per a certificar el compliment de tots els assajos. Els assajos que es requereixen són de vibració, de xoc tèrmic i cicles, d'impacte mecànic, de resistència al foc, de protecció vers curtcircuits exteriors, de protecció de sobrecàrrega, de protecció vers la descàrrega excessiva i de protecció de sobreescalfament.

20. Subvencions i ajuts econòmics per a l'usuari final per l'obtenció d'un vehicle elèctric

Recentment, el Govern de la Generalitat de Catalunya, juntament amb altres entitats col·laboradores, ha presentat diverses estratègies per a fomentar el vehicle elèctric a curt i mitjà termini per tal de canviar progressivament els mètodes de desplaçaments implementats en l'actualitat, els quals depenen dels combustibles fòssils i comporten la generació d'emissions de gasos contaminants. D'entre totes les mesures que es recullen dintre d'aquestes estratègies, hi figuren un conjunt d'avantatges econòmiques que acompanyen l'adquisició d'un vehicle elèctric. L'usuari final es beneficiaria d'un conjunt ajudes econòmiques tant en la compra com en l'ús del vehicle elèctric. Els avantatges més significatius són els següents:

Ajudes a la compra de vehicles

- Subvencions a la renovació de vehicles turisme (M1) i comercials (N1) amb models d'alta eficiència energètica. Aquestes subvencions canvien les seves condicions periòdicament i els seus punts depenen en gran mesura del pressupost del que disposen les entitats que les proposen. Actualment, hi ha vigent el Pla PIVE 8 [3].
- Ajuda a l'adquisició de vehicles d'energies alternatives (elèctrics, de gas natural o GLP). Aquesta ajuda s'anomena Pla MOVEA [4].
- Exempció del pagament de l'impost de matriculacions per vehicles amb emissions inferiors a 120 g/km [1]. Aquest impost per a un vehicle convencional és d'entre 1500 i 2000 euros.

Estalvi de costos

- L'impost anual de circulació per a vehicles de tracció mecànica pot ser reduït fins al 75%, amb petites variacions per a algunes localitats. Un vehicle convencional paga anualment entre 80 i 170 euros.
- Peatges gratuïts en autopistes de la Generalitat de la zona de protecció d'aire entre setmana per vehicles elèctrics amb la identificació ecoviaT [5].
- Amb el servei EcoviaT [5] es poden obtenir descomptes del 30%, amb la possibilitat d'acumular-se a altres descomptes existents, per a circular en autopistes i altres vies.

- Els ajuntaments ofereixen bonificacions en les zones d'aparcament regulades en àrees urbanes (Àrea Verda i Àrea Blava) amb tarifes reduïdes o, fins i tot, gratuïtes. A Barcelona, aquestes avantatges es poden obtenir mitjançant la targeta LIVE Barcelona [6].
- Els turismes de baixes emissions poden circular pel carril bus-VAO de la C-58 amb la identificació ecoviaT [5].
- Recàrrega per a vehicles elèctrics a tarifa 0€ en punts municipals en via pública [6].
- Diversos operadors d'aparcament públic han instal·lat PdRs en algunes places i ofereixen bonificacions a la recàrrega [7].

Instal·lacions de Punts de recàrrega sostenibles

- Bonificació de fins al 50% de la inversió en la instal·lació de punts de càrrega en edificis plurifamiliars construïts abans de 1981 [8].
- El pla MOVEA [4] contempla la obligació dels concessionaris adherits a l'aportació de fins a 1.000 € per la instal·lació del punt vinculat.

21. Avaluació del impacte mediambiental

Un aspecte a considerar en el desenvolupament del projecte és la seva viabilitat mediambiental i, per aquest motiu, cal avaluar l'impacte que el projecte pot tenir en l'entorn. El principal aspecte a tenir present en referència a l'impacte mediambiental del EV és el reciclatge de la bateria.

21.1. Recuperació dels residus de les bateries

Les bateries ió-liti contenen substàncies químiques, tals com àcid i liti, que si es disposen de manera incorrecta poden resultar nocives per al medi ambient. No obstant això, una bateria és un dispositiu que funciona com un sistema tancat, és a dir, les substàncies químiques que la conformen mai es vessaran durant la vida operativa de la bateria, a menys que es manipuli de manera incorrecta la bateria.

Les bateries de ió-liti es caracteritzen per tenir un gran potencial de reciclatge. Tal i com s'aprecia en la Figura 21.1, més d'un 70% en pes dels materials emprats en una bateria d'ió-liti són gairebé 100% reciclables. A més, durant aquesta primera generació de EVs s'espera desenvolupar un mecanisme de reciclatge d'aquestes bateries viable en termes econòmics.

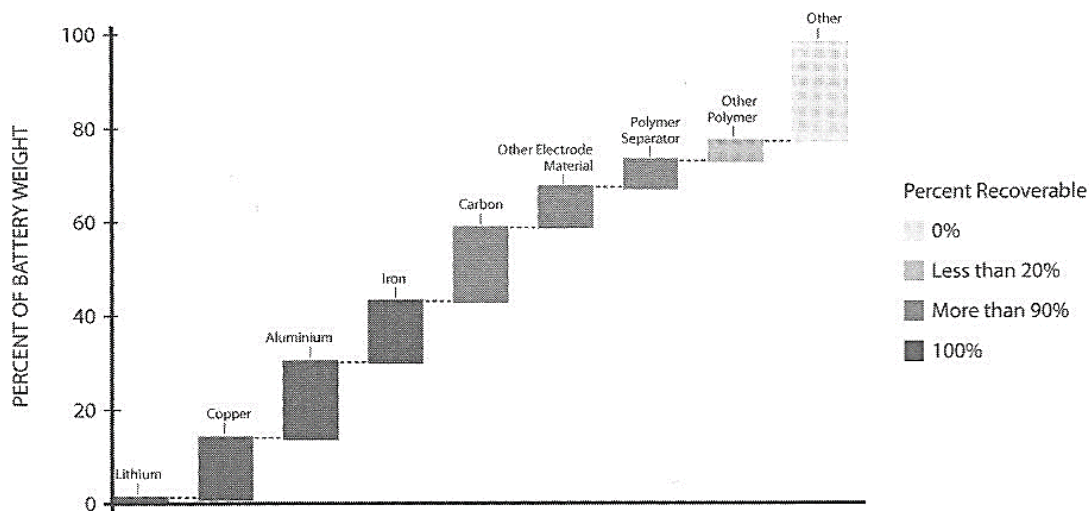


Figura 21.1 Materials reciclables en una bateria d'ió-liti per pes – Font: Electrification Coalition (2012)

21.2. La dependència del liti

El 80% de les reserves globals de liti es troben repartides a Sud Amèrica. No obstant això, la tecnologia de les bateries dels EVs actualment es desenvolupa i produeix principalment en els Estats Units d'Amèrica i la Xina, on només s'hi troben el 4% i 10% de les reserves globals de liti, respectivament (**Figura 21.2**).

Una de les preocupacions que podria sorgir referent als EV es que la producció de bateries depèn de la limitació geogràfica de les reserves de liti. Tot i que, al igual que el petroli, el liti és un material escàs i un recurs amb limitació geogràfica, és improbable que els mercats dedicats a la fabricació de bateries per EVs es vegin amenaçats per les restriccions en el subministrament d'aquesta matèria prima. Cal tenir present que les bateries, les quals representen un 40% del producte final fabricat a partir del liti, a diferència del petroli són només una inversió inicial i no una despesa continua.

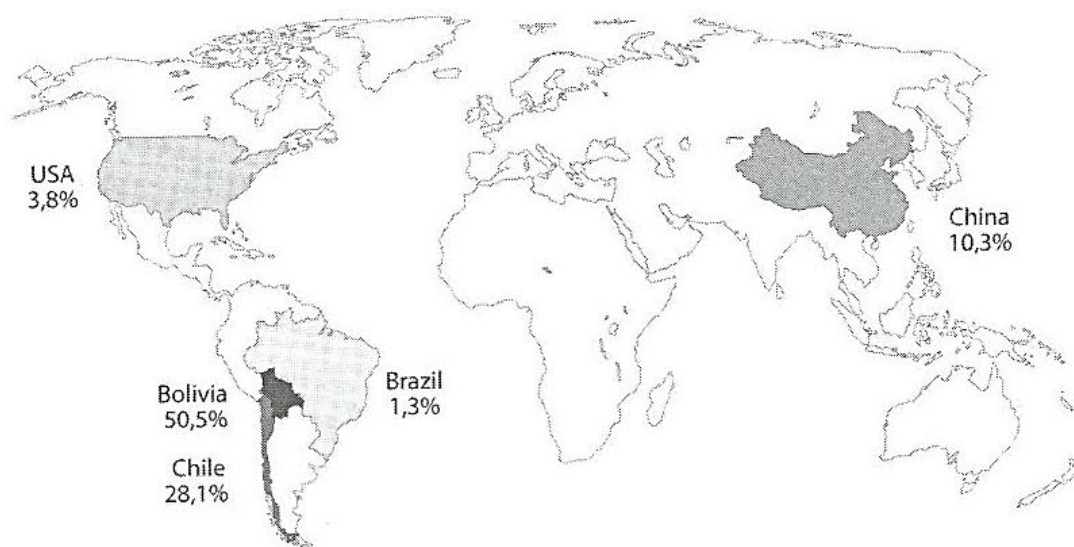


Figura 21.2 Mapa mundial de les reserves globals de liti - Font: *Electric Vehicles* per João Vitor Fernandes Serra (2012)

Futurs desenvolupaments

Malgrat l'artefacte final s'adapta a les necessitat de l'usuari i, per tant, compleix les especificacions tècniques previstes, sempre es poden implementar millores en matèria d'eficiència energètica, seguretat i disseny del vehicle.

Pel que respecta al sistema d'emmagatzematge energètic del vehicle, en futurs desenvolupaments es podria considerar la incorporació d'un sistema combinat de funcionament entre bateria i ultracondensadors per a dissociar el subministrament d'energia i el de potència. Malgrat que aquest sistema combinat incrementaria els costos de l'artefacte, el vehicle respondria de manera més efectiva a les condicions de tràfic en zones suburbanes. Paral·lelament s'hauria d'estudiar si aquesta increment en les prestacions, però també en preu, suposaria un augment en el nombre d'usuaris finals i, en conseqüència, en el volum d'ingressos per al projecte.

Una altra mesura per a millorar l'eficiència energètica del vehicle podria ser la incorporació d'una lluminària exterior del vehicle (llums de carretera, intermitents i de senyalització de maniobra) amb un consum energètic més reduït per a contribuir en l'increment en l'autonomia del vehicle.

En matèria de seguretat, es podria proposar un disseny que incorporés un sostre reforçat amb barres protectores per tal de garantir, en la mesura del possible, la integritat física dels ocupants en cas de bolcament. Així mateix, els usuaris es podrien desplaçar de manera més confortable quan les condicions meteorològiques fossin adverses.

En referència al disseny, les propostes han d'estar dirigides principalment a la millora en l'estabilitat, l'aerodinàmica i l'estètica de l'artefacte.

Per millorar l'estabilitat es pot incorporar un sistema automàtic de moviment vertical en sentits oposats de les dues rodes frontals, a fi de contrarestar la força centrífuga dels viratges mitjançant l'aplicació d'un angle d'inclinació del vehicle respecte el sòl. Aquesta inclinació necessària s'hauria de calcular en funció de l'angle de direcció, a partir d'un sensor de giroscopi³¹ i la velocitat del vehicle.

Per a la millora en l'aerodinàmica de l'artefacte, o bé es disminueix el coeficient de resistència aerodinàmica, o bé es redueix la superfície frontal del vehicle. Una manera efectiva de reduir aquesta superfície frontal podria ser mitjançant la disposició dels dos seien

³¹ Sensor de giroscopi – Sensor per a mesurar, mantenir o canviar la orientació en l'espai d'algun aparell o vehicle.

de l'artefacte en tàndem (un darrere de l'altre). Tant una mesura com l'altre contribuirien a una millora en el consum energètic del vehicle (W/km) i, per tant, un increment en el l'autonomia d'aquest, sense la necessitat de millorar la capacitat energètica del sistema d'emmagatzematge d'energia del vehicle.

Un altre aspecte susceptible de millora és l'estètica de l'artefacte. Cal remarcar que les vendes d'un artefacte no només depenen del grau de compliment de les especificacions tècniques definides per a aquell artefacte, sinó també de l'aparença estètica d'aquest. En un futur proper, es podria dur a terme un redisseny de l'artefacte d'acord amb les tendències de disseny contemporànies en el mercat de l'automoció per tal d'augmentar la competitivitat de l'artefacte dins del mercat en el que s'emmarca.

Per últim, encara que en el projecte no s'ha abordat el tema referent a les funcionalitats complementàries de l'artefacte, seria interessant en un futur proposar-ne algunes d'opcionals per millorar la flexibilitat del producte. Evidentment, aquestes funcionalitats afegides incrementarien el preu final de l'artefacte.

Conclusions

En un futur pròxim, com a conseqüència dels elevats nivells de contaminació a les ciutats, noves lleis de prohibició de circulació als vehicles de combustió interna s'imposaran en les zones urbanes. De tots els automòbils al mercat que estan exempts de les futures prohibicions, és a dir els automòbils elèctrics, gairebé cap presenta les característiques adequades a les condicions de desplaçaments urbans. Aquesta desproporció en característiques tals com la massa, la potència i les dimensions d'aquests vehicles, suposa bàsicament un consum energètic excessiu i innecessari, i un augment del sòl aparcament i de la superfície d'asfalt en carretera —aquella que ocupa cada vehicle que es troba en circulació—. A tot això, cal afegir-hi el desajust entre els elevats preus i les característiques que ofereixen els vehicles no contaminants que sí suposen una millora en l'adaptabilitat als entorns urbans, és a dir, els quadricicles elèctrics.

Malgrat que a dia d'avui els quadricicles no siguin el segment de l'automoció més popular, les seves característiques els confereixen una adaptabilitat única als entorns urbans. Per aquest motiu, en aquest projecte s'ha dut a terme una forta aposta per a promoure l'explotació d'aquest segment de l'automoció mitjançant la proposta de nous sistemes de configuració del tren de potència que redueixin els costos de l'automòbil i, per tant, també el seu preu de venda.

En aquest projecte s'ha verificat l'existència de noves alternatives en el tren de potència que suposen una reducció significativa en els costos de l'artefacte, sense la necessitat de comprometre el compliment de les especificacions tècniques, definides a partir de les necessitats de l'usuari final.

Sens dubte, aquest artefacte ha resultat ser interessant tant a nivell tècnic com a nivell econòmic. És per això que les propostes exposades en el projecte, en referència a les variacions en la configuració del tren de potència i els components que el conformen, tals com la configuració del motor 'in-wheel' i la utilització d'una única roda posterior motriu, podrien marcar unes tendències de disseny i producció en els pròxims anys.

Pel que respecta al cost de l'artefacte expressat com la suma dels costos individuals de cada component, un ajust inicial del marge de benefici conjuntament amb l'aplicació de les subvencions i els ajuts econòmics per a l'usuari final per l'obtenció d'un vehicle elèctric poden derivar en un preu final de l'artefacte molt atractiu. Una altra conclusió, extrapolable a qualsevol altre vehicle elèctric, és que la poca maduresa de les tecnologies per a l'acumulació energètica suposa un elevat cost dels sistemes d'emmagatzematge d'energia actuals. No obstant això, és molt probable que a curt-mig termini es dugui a terme un ràpid avenç en aquest camp i que el desenvolupament de les bateries permeti una reducció notable

en els costos dels EV.

En definitiva, l'aspecte més important d'aquest projecte resideix en la idea subjacent que es vol transmetre en cadascuna de les seves propostes: canviar la manera de les persones d'entendre la mobilitat urbana i millorar les seves vides d'una manera sostenible, és a dir, sense comprometre les necessitats de futures generacions.

Agraïments

Per al bon desenvolupament del projecte a estat fonamental la col·laboració del tutor de pràctiques. L'assessorament proporcionat ha estat de gran ajuda durant totes les fase del projecte.

També ha estat de gran ajuda el suport rebut per part de l'associació d'enginyers de Catalunya. Gràcies a l'accés proporcionat al servei de normativa s'han pogut analitzar i identificar tots aquells reglaments que afecten directament al desenvolupament del projecte.

Bibliografia

En l'apartat de referències bibliogràfiques s'exposa el llistat de totes aquelles fonts esmentades en alguna part del text. En l'apartat de bibliografia complementària s'exposa el llistat d'aquella documentació suplementària no citada en el text però que pot ésser d'interès per al lector.

Referències bibliogràfiques

- [1] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Air quality in Europe*. Publicat el 14 de Novembre de 2014. [<http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014>, 16 d'abril de 2016].
- [2] GOBIERNO DE ESPAÑA. AGENCIA TRIBUTARIA. *Fiscalidad de la primera matriculación de vehículos*. [http://www.agenciatributaria.es/AEAT.internet/Inicio/La_Agencia_Tributaria/Campanas/Impuesto_Especial_sobre_Determinados_Medios_de_Transporte/Informacion_sobre_matriculacion_de_vehiculos/Fiscalidad_de_la_primera_matriculacion_de_vehiculos.shtml, 16 d'abril de 2016].
- [3] IDAE, Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. GOBIERNO DE ESPAÑA. *Plan PIVE 8*. Madrid, 2015. [<http://www.idae.es/index.php/relcategoria.4046/id.860/reلمenu.456/mod.pags/mem.detalle>, 16 d'abril de 2016].
- [4] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. GOBIERNO DE ESPAÑA. *Real Decret 1078/2015*. Publicat al «BOE» núm. 285, 28 de novembre de 2015, pàgines 112554 a 112578 (25 pàgs.). [http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-12900, 16 d'abril de 2016].
- [5] ECOVIA T. DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT. GENERALITAT DE CATALUNYA. *Què és ecoviat?*. [<http://www.ecoviat.com/ca-es/qu%C3%A8%C3%A9secoviat.aspx>, 16 d'abril de 2016].
- [6] LIVE, Plataforma públic-privada per a l'impuls de la mobilitat sostenible a Barcelona i Catalunya. AJUNTAMENT DE BARCELONA. *Usuaris de mobilitat sostenible*. [<http://w41.bcn.cat/ca/usuaris-de-mobilitat-sostenible/#passos>, 16 d'abril de 2016].
- [7] B:SM, Barcelona de Serveis Municipals S.A. *La xarxa d'aparcaments de Barcelona*.

[<http://www.aparcamentsbsm.cat/index.php/aparcaments-bsm/serveis.html>, 16 d'abril de 2016].

- [8] CONSORCI DE L'HABITATGE DE BARCELONA. GENERALITAT DE CATALUNYA. *Instal·lació pdR vinculat en edificis d'habitatge*. [<http://www.consorcihabitatgebcn.cat/>, 16 d'abril de 2016].
- [9] MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. GOBIERNO DE ESPAÑA. *Real Decret 1428/2003 pel que s'aprova el Reglament General de Circulació per l'aplicació y desenvolupament del text articulat de la Llei sobre tràfic, circulació de vehicles a motor y seguretat vial*. Publicat al «BOE» núm. 306, 21 de novembre de 2003. [<http://www.ictonline.es/ictnol/ictnol?accio=fitxesdl&idtema=486618&idfitxa=20038565>, 30 d'abril de 2016].
- [10] COMISIÓ ECONÒMICA DE LES NACIONS UNIDES PER A EUROPA. *Reglament número 100 referent a les disposicions uniformes relatives a l'homologació de vehicles en relació amb els requisits específics del grup motopropulsor elèctric*. Publicat al diari oficial de la Unió Europea, 31 de març del 2015.
- [11] JOÃO VITOR FERNANDES SERRA. *Electric Vehicles: technology, policy and commercial development*. London and New York: Earthscan, 2012, p. 61-108.
- [12] HENK JAN BERGVELD, WANDA S. KRUIJT i PETER H. L. NOTTEN. *Phillips Research Book Series Volume 1, Battery Management Systems*. Springer International Publishing, 2002, p. 9-10.
- [13] ENDESA. *Recàrrega del vehicle elèctric*. [<https://www.endesavehiculoelectrico.com/vehiculo-electrico/recarga/tipus>, 5 de juny de 2016]
- [14] C.C. CHAN & K.T. CHAU. *Modern Electric Vehicle Technology*. New York: Oxford University Press, 2001, p. 29-48.
- [15] COMISIÓ ECONÒMICA DE LES NACIONS UNIDES PER A EUROPA. *Reglament número 168/2013 referent a l'homologació dels vehicles de dos o tres rodes i als quadricicles, i a la vigilància del mercat d'aquests vehicles*. Publicat al diari oficial de la Unió Europea, 15 de gener del 2013.
- [16] MINISTERI DE LA PRESIDÈNCIA. GOVERN D'ESPANYA. *Real Decret 818/2009 pel que s'aprova el Reglament General de Conductors*. Publicat al «BOE» núm. 138, 8 de juny de 2009. [<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2009-9481>, 8 de juny de 2016].

- [17] GRUP RENAULT. *Monthly Sales*. [<https://group.renault.com/en/finance-2/financial-information/key-figures/monthly-sales/>, 10 de juny de 2016].
- [18] JERRY HIRSCH, LOS ANGELES TIMES. *Low-speed electric vehicles are low-safety, watchdog group warns*. Publicat el 20 de maig de 2010. [<http://articles.latimes.com/2010/may/20/business/la-fi-electric-cars-20100520>, 11 de juny de 2016].
- [19] CENEAM, Centro Nacional de Educación Ambiental. *¿Cómo nos movemos?*. Publicat el Novembre de 2014. [<http://www.magrama.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/como-nos-movemos.aspx>, 12 de juny de 2016].

Bibliografia complementària

- [1] RENAULT FABRICANT D'AUTOMOVILS. *Catàleg electrònic del Renault Twizy*. [http://www.renault.es/e/brochure/ZETWIZY/index.html?utm_source=Ebrochure&utm_medium=e-mail&utm_content=Ebrochure-ZETWIZY&utm_campaign=Ebrochure-conf-view#p=1, 13 d'abril de 2016].
- [2] REVA. *Catàleg electrònic del Reva-i i el Reva L-ion*. [<http://www.reva-car.be>, 13 d'abril de 2016].
- [3] GENERAL ELECTRIC MOTORCARS. *Catàleg electrònic del GEM-e2*. [<http://www.polaris.com/en-us/gem-electric-car>, 13 d'abril de 2016].
- [4] AIXAM-MEGA. *Catàleg electrònic del Aixam-Mega e-City*. [<http://www.mega-vehicles.com>, 13 d'abril de 2016].
- [5] RENAULT FABRICANT D'AUTOMOVILS. *Catàleg electrònic del Dacia Sandero*. [<http://www.dacia.es/gama-dacia/sandero/>, 13 d'abril de 2016].
- [6] TRIGGER CARS. *Catàleg electrònics del Trigger Arrow*. [<http://www.triggercars.eu>, 4 de juny de 2016].
- [7] AA PORTABLE POWER CORP. *Fitxa tècnica de LFP-G100*. [<http://www.batteryspace.com>, 4 de juny de 2016].
- [8] AA PORTABLE POWER CORP. *Fitxa tècnica de BMS-EL-V7*. [<http://www.batteryspace.com>, 4 de juny de 2016].
- [9] KELLY LEAD TO CLEAN THE WORLD. *Especificacions tècniques del Car Hub Motor 72V i 7kW*. [<http://kellycontroller.com/>, 5 de juny de 2016].

- [10] KELLY LEAD TO CLEAN THE WORLD. *Fitxa tècnica de F7210-72V/10A*.
[<http://kellycontroller.com/>, 5 de juny de 2016].
- [11] AA PORTABLE POWER CORP. *Fitxa tècnica de BMS-EP128*.
[<http://www.batteryspace.com>, 5 de juny de 2016].
- [12] KELLY LEAD TO CLEAN THE WORLD. *Especificacions tècniques de KBL72401E*. [<http://kellycontroller.com/>, 7 de juny de 2016].
- [13] KELLY LEAD TO CLEAN THE WORLD. *Especificacions tècniques de KDCC7212-400-5W*. [<http://kellycontroller.com/>, 7 de juny de 2016].